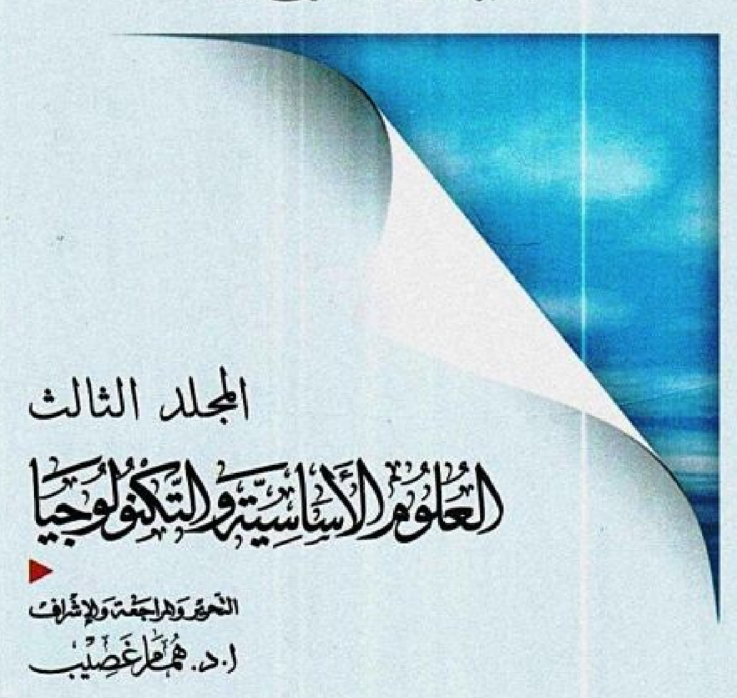
ABDUL-HAMEED SHOMAN FOUNDATION



حصاد القرن

المنجزات العلمية والإنسانية في القرن العشرين

المشرف العام: أ.د. فهمي جدعان



المجلد الثالث

العلوم الأساسية والتكنولوجيا

التحرير والمراجعة والإشراف

أ.د. همام غصيب

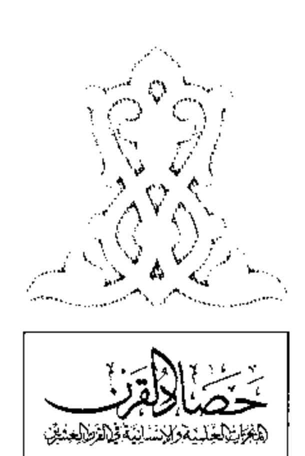


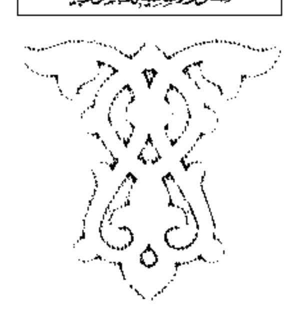
المؤسسة العربية



مؤسسة عبد الحميد شومان







المجلد الثالث

العلوم الأساسية والتكنولوجيا

▼

التحرير والمراجعة والإشراف

أ.د. همام غصيب

حصاد القرن : المنجزات العلميّة والإنسانيّة في القرن العشرين (العلوم الأساسيّة والتكنولوجيا)/ فكر عربيّ
مجموعة مؤلفين عرب
التحرير والمراجعة والأشراف : أ.د. هُمام غصيب / الأردنّ

الطبعة الأولى ، 2011



مؤسّسة عبد الحميد شومان
هاتف 00962 6 4633372
فاكس 00962 6 4633565
ص.ب (940255) ـ عمّان (11194)
المملكة الأردنيّة الهاشميّة



المؤسّسة العربيّة للدراسات والنشر
المركز الرئيسي :
بيروت ، الصنايع ، بناية عيد بن سالم ،
ص.ب : 11-5460
هاتفاكس : 751438 / 752308 1 00961

التوزيع في الأردن :
دار الفارس للنشر والتوزيع
عمّان ، ص.ب : 9157
هاتف 5605432 6 00962 ، هاتفاكس 5685501 6 00962
e-mail : info@airpbooks.com
موقع الدار الإلكترونيّ : www.airpbooks.com
تصميم الغلاف والإشراف الفنّي :
محمد سيف ®
الصفّ الضوئي : **أزمنة للنشر والتوزيع / عمّان**
التنفيذ الطباعيّ : **ديمو برس / بيروت ، لبنان**

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنيّة 3525 / 9 / 2011

الآراء الواردة في هذه البحوث تمثّل وجهة نظر أصحابها ولا تعبّر بالضرورة عن وجهة نظر الناشرين .

(ردمك) ISBN 978-9957-19-044-6

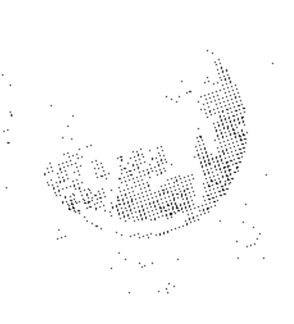


المجلد الثالث

العلوم الأساسية والتكنولوجيا

التحرير والمراجعة والإشراف: أ.د. همام غصيب

أ. د. عبد المجيد نصير
أ. د. محمد باسل الطائي
أ. د. منير نايفة
أ. د. نزار الريّس
أ. د. نبيل علي
أ. د. منصور العبادي
أ. د. وليد المعاني
أ. د. سرى سبع العيش
أ. د. طالب أبو شرار
أ. د. امجد خليل
أ. د. خليل المغربي
أ. د. غاندي أنفوقة









حصاد القرن

تمهيد

مشروع (حصاد القرن) مشروع «تنويري» في المقام الأول. فهو، في إبانته الشاملة عن المنجزات المعرفية والأدبية والفنية والعلمية والتقنية التي تحققت في القرن العشرين، يستجيب لاستراتيجية ثقافية تتوخّى وضع العقل العربي والذوق العربي والفعل العربي في فضاء العصر، وتنشد تشكيل جملة من الدواعي والبواعث والقصود الدافعة إلى تقدّم الوعي والفعل في حياة الأجيال العربية.

ولقد نجمت فكرة (حصاد القرن) في حديث كان بيني وبين معالي الأستاذ إبراهيم عز الدين في العام ١٩٨٨ حين كان، آنذاك، مديراً عاماً لمؤسسة عبد الحميد شومان. وبحماسته المعهودة وعزيمته الثابتة سارع إلى تبنّي الفكرة وإلى اتخاذ قرار من (المؤسسة) بإطلاق المشروع.

وهكذا، وخلال فترة وجيزة، تمّ اختيار فريق التحرير من الأستاذ الدكتور همام غصيب، أستاذ الفيزياء النظرية بالجامعة الأردنية، والأستاذ الدكتور محمد شاهين، أستاذ الأدب الإنجليزي والنقد بالجامعة الأردنية، وأنا شخصياً . أنيط بي تحرير (قسم العلوم الإنسانية والاجتماعية)، وبالدكتور محمد شاهين (قسم الأدب والنقد والفنون)، وبالدكتور همام غصيب (قسم العلوم الأساسية والتكنولوجيا).

كان الهدف أن يكون هذا المشروع عملاً (موسوعياً) رفيعاً نقصد منه إلى أن نضع بين أيدي أبناء الأمّة العربية جملة المنجزات العلمية التي أمكن للإنسان أن يدير

عليها حياته الروحية والمادية وأن يتقدّم بها خلال القرن العشرين كلّه، في طريقه إلى القرن الحادي والعشرين. وذلك في قطاعات العلوم الإنسانية والاجتماعية، والآداب والنقد والفنون، والعلوم الأساسية والطبيعية والتكنولوجيا. كما تمثّل أحد أغراض العمل في أن يطلع المختصون وأصحاب القرار في العالم العربي على نتائجه لعل بعض وجوهه أن يكون عوناً لهم في مقاربة العالم من حولهم عند مطلع القرن الحادي والعشرين.

ولقد حرصت (مؤسسة عبد الحميد شومان)، راعية المشروع، مثلما حرص فريق التحرير، على أن يكون المشاركون في إنفاذ هذا المشروع نخبة من خيرة الباحثين والأكاديميين المختصين، كلّ في حقله الخاص، وأن تمتد المشاركة إلى جملة الفضاء الثقافي والعلمي العربي. وكان الأمر كذلك . والتزم الباحثون في معالجتهم لمواضيعهم الخاصة بالتوجّه إلى جملة ما يتصل بالموضوع على مستوى الفكر الإنساني والعالمي في كل قسم من أقسام المشروع، وبأن يُخَصَّ العالم العربي بقدر من البحث حين يتعلّق الأمر بإسهام حقيقي أو بأن تُبيّن حال العرب من الأمر وأن يجاب عن السؤال : أين العرب من هذا الموضوع؟ كما حرص الباحثون ، بقدر ما هو ممكن، على عرض الوجوه التالية:

- ما هي الأسئلة والموضوعات والقضايا الرئيسة في مجال البحث؟ وما هو التطوّر الذي حصل في هذا المجال على مدى القرن العشرين؟
- ما هي أبرز المنجزات أو النظريات أو النتائج التي حفل بها الموضوع / العلم خلال القرن؟ ومن هم الذين أسهموا على وجه حاسم ومؤثّر في تشكيله وتطويره؟
- ما هي أبرز المشكلات والتحديّات التي يطرحها الموضوع / العلم عند نهاية القرن العشرين وعلى مشارف القرن الحادي والعشرين؟

ولقد أمكن حصر (المشروع) في أربعة مجالات ينتظم كل منها في موضوعات رئيسية على النحو التالي :

١ . مجال العلوم الإنسانية والاجتماعية، ويشتمل على الحقول التالية:

- علم الاقتصاد
- الفلسفة والمنطق
- علم الاجتماع
- التاريخ
- العلوم التربوية
- العلوم الإنسانية
- القانون
- الإدارة
- علم الإنسان (الأنثروبولوجيا)
- الإعلام

وضُمّ إلى هذا المجال موضوعان متممان في : الفكر الاستراتيجي وتطبيقاته، والعالم العربي على مشارف القرن الواحد والعشرين، وموضوع ثالث في الصراع العربي ـ الإسرائيلي حال الرحيل المفاجئ للمرحوم الدكتور إبراهيم أبو لغد دون إنجازه.

٢ . مجال الأدب والنقد، ويشتمل على :

- اللسانيات
- النقد الأدبي
- الأدب

٣ . مجال الفنون ، ويشتمل على :

- الفنون التشكيلية
- العمارة
- الموسيقى
- السينما
- المسرح

٤ . مجال العلوم الأساسية والتكنولوجيا:

- العلوم الفيزيائية
- العلوم الطبية
- العلوم الرياضية
- العلوم الزراعية

- المعلوماتية
- العلوم الكيميائية
- الاتصالات
- التكنولوجيا
- التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية :

١ . في مجال الزراعة والبيئة.

٢ . في مجال الصناعة والتشريعات

٣ . في مجال الصناعات الدوائية والطب.

وليس ثمّة شك في أننا نحتاج إلى تضافر جهود عديدة لباحثين عديدين من أجل تقديم عمل لا يرقى إليه النقد. والأعمال «الجماعية» نفسها لا تنجو هي أيضاً من ظلال النقد والقصور. وقد لا يجدر بي أن أشير إلى خيبات الأمل التي اعترضت طريق فريق التحرير قبالة نصوص أعدت بغير عناية، أو أخرى بلغة تتطلّب إعادة إنشاء كاملة، أو أخرى تقع خارج الموضوع، أو بإزاء الوعود التي تلقى مراراً وتكراراً من غير جدوى .. وغير ذلك مما يبعث اليأس والقنوط في نفوس المحرّرين ويشك في «صِدْقية» المشروع نفسه.

بيد أن ذلك كلّه، وسواه، لم يفت في عضد القائمين على المشروع ، الذين أحيطوا من (إدارة المؤسسة) وأركانها العاملة، برعاية وتشجيع غير عاديين.. حتّى استوى المشروع وأدرك إشهاره في منتصف العام ٢٠٠٥ ، وبات ميسوراً لمن يشاء الاطلاع على (حصاد القرن العشرين) في هذه المجلّدات التي تظهر تباعاً، بدءاً بـ (قسم العلوم الإنسانية والاجتماعية) ، فـ (قسم الأدب والنقد والفنون)، وانتهاء بـ (قسم العلوم الأساسية والتكنولوجيا).

يمثّل هذا المشروع منجزاً مبتكراً من منجزات (مؤسسة عبد الحميد شومان) ، ويقع في مكانة مركزية من جهودها الثقافية الكبرى الرائدة. «فمنذ نشأتها .. احتلت مؤسسة عبدالحميد شومان مكاناً بارزاً في مشهد الثقافة على الصعيد المحلي والعربي، بل والدولي. وقد سعت من خلال أنشطتها المتعدّدة الجوانب إلى تفعيل

مختلف مناطق الحراك الثقافية المختلفة. وقد بلغت أنشطة المؤسسة درجة عالية من الشمول بحيث عنيت بإقامة الندوات الفكرية وبتقديم العروض السينمائية والمسرحية و الموسيقية ورعاية الفنون التشكيلية وغير ذلك من الحقول المعرفية، حيث تخضع هذه العروض لقراءات نقدية تضيء مختلف جوانبها . ويجيء مشروع «حصاد القرن» في سياق الجهد الدؤوب الذي تبذله المؤسسة في إطار نشر ثقافة على درجة عالية من السويّة، حيث يقدّم المشروع مقاربة أكثر شمولاً للنتاجات الثقافية المختلفة في الإطار الأوسع.

تولى إعداد بحوث هذه الأقسام قرابة الأربعين أستاذاً وباحثاً متخصصاً. وتقرّر أن تقدّم جملة البحوث المعدّدة للمشروع من قبل أصحابها في برنامج متكامل للندوات العلمية تعقد في مؤسسة عبد الحميد شومان في محاضرات عامة تقدّم للجمهور، أو في حلقات مستديرة خاصة تشتمل على عروض ومناقشات أو مداخلات. وقد بوشر بتقديم المحاضرات العامة من المشروع في (منتدى عبد الحميد شومان)، بمحاضرة الأستاذ السيد ياسين حول (العالم العربي على مشارف القرن الواحد والعشرين)، وذلك مساء يوم الاثنين الموافق ١٦ مايو ٢٠٠٥ .

وتقرّر أن تصدر (مؤسسة عبد الحميد شومان) بحوث كل قسم من أقسام المشروع في إصدار خاص يليق بأهميته ويوضع بين أيدي أبناء الأقطار العربية. والمجلّد الذي بين يديّ القارئ جزء من هذا المشروع.

كان الرجاء منعقداً على أن يتم إنجاز هذا المشروع مع نهاية القرن العشرين. بيد أنّ استجابات الباحثين لم تكن مواتية دوماً، وتعذر في كثير من الحالات إنجاز العمل في الوقت المحدّد، كما أنّ المشروع لقي ركوداً إدارياً خلال فترة غير وجيزة، ولم ينهض من جديد بفعالية وقوّة إلاّ مع قدوم معالي الأستاذ ثابت الطاهر مديراً عاماً لمؤسسة عبد الحميد شومان ، إذ عقد العزم على المضي به قدماً وعلى أن يدفعه إلى نهاياته المنشودة.

لم يكن إحراز تقدّم حقيقي في ميدان هذا العمل أمراً يسيراً . فالمشروع مشروع طموح. لا بل إنّه طموح للغاية. إذ لا يخفى أنّه ليس بالأمر اليسير أن ينهض شخص بمفرده، في مدى زمني محدود، وبإمكانيات غير وفيرة، بإعداد «مُحصَّل» بجملة المعارف والآليات والمناهج والمكتسبات والإنجازات التي تمّت، في حقل معيّن، خلال قرن بكامله، هو القرن العشرون، وهو قرن يتجاوز في إنجازاته كل ما خلّفته القرون البشرية السالفة. وليس من اليسير أيضاً توفير المصادر والمراجع المعاصرة الضرورية لإنجاز بحث متكامل في هذا العلم أو الحقل أو ذاك من العلوم والحقول الإنسانية المعاصرة.

إنّ المؤسسة تدرك طبيعة العلاقة البنيوية التي باتت تسم المعرفة في هذا العصر، إذ لم يعد هناك انفصال بين الثقافة المحلية والثقافة الكونية. وهو واقع جعل من جدلية العلاقات في هذا الإطار واقعاً يتعذّر تجنّبه بعد أن انفتحت المعارف الكونية عن طريق الإتصال الإلكتروني وسهولة الوصول إلى المعلومات . ولعل من الضرورات التي يفرضها هذا الواقع أن يكون الاهتمام بعرض الناتج الثقافي المحلي جزءاً من بنية الثقافة نفسها بحيث تأخذ الثقافة المعنية مكاناً مناسباً يؤهلها للتفاعل مع مكوّنات البناء المعرفي الجمعي. وفي ضوء هذا الفهم، فإنّ (مشروع حصاد القرن) يهدف أولاً إلى تزويد القارئ بصورة بانورامية للمشهد المعرفي الكوني في القرن العشرين، ويفتح له نافذة على تجليّات ذلك المشهد بحيث يمكن له بعد ذلك أن يتعمّق في قراءة مفردات الحالة المعرفية التي تعنيه. وفي المقام الثاني، يعمل المشروع من خلال هذه البانوراما على المنجز الثقافي العربي في سياق المنجزات المعرفية الكونية، مما يضع هذا المنجز في إطار المنجز الكوني ويؤسّس لانخراط الثقافة المحلية في جدل الثقافة العالمية.

قادت الثقافة العربية، كما هو معروف، مسيرة المعرفة في حقبة مهمة من التاريخ الإنساني. وإذا كان لنا أن نستعيد جزءاً من تلك الريادة في الحقل المعرفي، فإنّ ذلك يستدعي منا أولاً الشروع بالتعرّف على موقعنا من الحدث المعرفي الكوني بغية

التحرّك قدماً في ضوء معرفتنا بخارطة المحيط الذي نتحرّك فيه. ولعلّ في مشروع حصاد القرن ما يعيننا على تعقّب حقيقة وأهمية الدور الذي اضطلعت به الثقافة العربية في الحدث الثقافي الكوني في القرن العشرين، ومن ثم التأكيد على المناطق المضيئة من أدائها وطرح الناشز والقاتم منها أنّى وجد» (د. محمد شاهين). بهذا (المشروع) يحق لمؤسسة عبد الحميد شومان أن تشعر بالاعتزاز والفخار، وبأنّها تسهم إسهاماً حقيقياً في تأسيس وتعزيز استراتيجية ثقافية وعلمية ومعرفية شاملة من شأنّها أن ترقى ارتقاء ملموساً بالوعي العربي وبالحياة العامة العربية. وذلك فضلٌ من أفضالها وإضافةٌ إلى إسهاماتها الوفيرة في الحقول والميادين الأخرى التي تميّزت بها خلال العقود السابقة.

«هذا مشروع موسوعي كبير. وشأنه شأن سائر المشروعات الموسوعية الكبيرة، فإنّه يحرّك العقول ويشحذ الهمم ويستثير خواطر وقضايا عدّة:

١ . فهو ينطلق من وحدة المعرفة وتكاملها، إذ يستند إلى إرث إنساني عظيم من نشدان الكليات وتوحيد الجزئيات؛

٢ . وهو يُبيّن بوضوح عن تداخل التخصصات وتعددها، إذ عصرنا هو عصر التخصصات المتداخلة المتعددة، والنزوع نحو هذا التدخّل في تعاظم مستمر؛

٣ . ويشكّل كل فصل من فصول هذا المشروع الموسوعي مراجعة نقدية من فروع المعرفة، وفي ذلك مزيد من التحقيق والتدقيق في المعرفة وتوسّع في التعلّم والاستنارة؛

٤ . ومع أنّ المشروع يتبع المعايير المنهجية الصارمة، إلاّ أنّه موجّه إلى «القارئ العام» ، أو «المثقّف غير المتخصص»، فهو يهدف ، إن أمكن القول، إلى «التوعية الجماهيرية»، وإلى أن يكون مشروعاً تنويرياً؛

٥ . وهو منجم أفكار للشباب والناشئة ، ومن المؤمل أن يحفزهم على قراءة عالمهم بوعي أكبر، وأن يساعدهم في استكشاف ميولهم العلمية والأدبية؛

٦ . وهو ، بكل تأكيد يسد نقصاً في المكتبة العربية، ولعلّه أن يكون واحداً في سلسلة الأعمال الكبيرة التي تتسم بالنفس الطويل والأفق الواسع؛

٧ . ومن شأن هذه الموسوعة أن تساهم في توحيد المصطلحات وإشاعتها ، وفي إرساء لغة مشتركة بين قمّة الهرم الثقافي وقاعدته» (د. همام غصيب).

نزعم لأنفسنا ما لا يحق لنا أن نزعمه، إن كنا ننهي إلى أي أحد أنّ هذا العمل يرقى إلى مشارف الكمال، أو أنّه خال من العيوب. فليس يخفى على العين الناقدة أنّ فصول هذا العمل تتفاوت في مدى تغطية كل منها للقطاع أو الحقل الذي تنهض به، وأنّ هذه العين ستدرك أنّ بعض عيون الباحثين قد أبصرت أشياء ولم تبصر أخرى، أو أنّ بعض هذه العيون لم تحط بما أبصرته إحاطة كافية، لا بل إنّها قدتكون قصرت في الفهم أو التفسير أوالتأويل. وذلك، ابتداءً ، حقّ من غير شك، وبخاصة في الحقول الإنسانية والأدبية والمعيارية. لكن الذي ينبغي أن يكون من هذه العين الناقدة على بال، أنّ هذا العمل لم يشأ، في منطقه الأصلي وفي طبيعته الذاتية وفي غائيته النهائية، أن يكون عملاً «أكاديمياً» استقصائياً شاملاً من الطراز التقني المتخصص الدقيق، وهو لم يزعم أبداً أنّه يقصدإلى تقديم «أطروحات علمية» أو رؤى أصيلة مبتكرة أو مبتدعة أو أن يكون كتاباً موجهاً للمختصين في الحقول التي عرض لها. إنّه في المقام الأول والأخير عمل يهدف إلى تزويد أجيالنا الحاضرة والمنظورة بمعرفة «الحدّ الأدنى الضروري» لكل حقل من حقول المعرفة الإنسانية والحساسية الجمالية والعلمية الأساسية والتطبيقية، وذلك من أجل تتميم معارفهم «الخاصة» أو ثقافتهم *الشاملة على* نحو يبدد غربتهم *عن العصر ويصلهم* مع الحضارة المعاصرة ومع حِراك الكون العالمي أعظم نفعاً وجدوى وأبعد أثراً وفاعلية، وأقدر على الانخراط في الحركة الكونية والإسهام في توجيهها. فضلاً، بكل تأكيد في المبدأ والمنتهى، عن الارتقاء بالوعي الذات والتقدّم الوطني.

قد لا يجدر بي - وأنا بعض فريق التحرير - أن أنوّه بالجهود الفذّة التي بذلها الفريق في تنظيم هذا المشروع وإعداده وتحريره وإنفاذه، لكنني أفعل، إذا لولا عزيمة

الصديقين العالمين همام غصيب ومحمد شاهين وصبرهما، ولولا تضافر جهودنا جميعاً لما أمكننا أن ندرك ما أدركناه من هذا العمل خلال السنوات التي أمضيناها في إعداده.

ولا يغفل فريق التحرير عن أن يسدي لمؤسسة عبد الحميد شومان بالغ الشكر لدعمها لهذا المشروع ورعايته، وللأستاذ ثابت الطاهر، مديرها العام، لحرصه وهمّته وفاعليته من أجل الوصول بهذا المشروع إلى غايته. كما يعبّر لجمهرة العاملين في إدارة المؤسسة ـ وبخاصة السيد عبد الرحمن المصري ـ عن شكره الخالص وتقديره العميق لما بذلوه من جهود مرافقة داعمة.

والله من وراء القصد، في الأول وفي الآخر.

إ.د. فهمـي جدعـان

المشرف العام

٢٠٠٦/١٠/٣

مقــدمـــــــة المحـــــــرّر

حَصاد القَرْن العشرين

أهمّ المنجَزاتِ العلميّةِ والتكنولوجيّة

وأخيـرًا يَصدرُ هذا المجلّدُ الذي انتظرناهُ طويلاً. وهو الثّالثُ والأخيـر في هذا العمل الموْسوعيّ التّنويريّ. ويُسلطُ الضّوء على أهمّ مُنجزات القرْن العشرين في العلوم والتّكنولوجيا. وكان المجلّدان: الأوّل (العلوم الإنسانيّة والاجتماعيّة؛ تحرير: أ. د. فهمي جدعان)؛ والثّاني (الأدب والنّقد والفنون؛ تحرير: أ. د. محمّد شاهين) قد صدرا عامَيْ ٢٠٠٧ و ٢٠٠٨، على التّوالي.

والمشـروع مَدين ـ في المقام الأوّل ـ لثلاثة أقطاب ذوي رؤيةٍ نافذة وعزيمةٍ ماضية: الأُستاذ الدّكتور فهمي جدعان، صاحب الفكرة، والمشرف العام على المشروع؛ ومعالي الأستاذ إبراهيم عزّ الدّين، الذي تبنّى الفكرة من دون أدنى تردُّدٍ أو تحفُّظ، باسْم مؤسّسة عبد الحميد شومان، وكان مديرَها العام آنذاك، وأقبلَ على تنفيذِها بكُلّ هِمّة؛ ومعالي الأستاذ ثابت الطّاهر، المدير العام للمؤسّسة منذ عام ٢٠٠٣، الذي أحيا المشروع بعْدَ بَيات ٍوسُبات، ورعاه بحماسةٍ ومحبّة حتّى رأى النّور.

وقد أعفاني الأخُ والصّديق الأُستاذ الدّكتور فهمي، في مقدّمته الضّافية، من مؤونةِ الحديث عن فلسفة المشروع، وأهدافِه، وتاريخه، والتّحدّيات التي واجَهَتْه. وتكرّم فأشار إلى بعض ما قُلتُهُ غيْرَ مرّة عن هذا المشروع الجليل؛ وعلى وَجْهِ

التّحديد، حين أُشهرَ في مؤتمرٍ صَحافيٍّ قبل ستّ سنوات. والحقّ أنّها كانت سنواتٍ خصبةً مثيرة تلك التي نسّقْنا فيها العمل وهندَسناه وتابعْناه ـ معالي الأُستاذ ابراهيم عزّ الدّين، ومعالي الأُستاذ ثابت الطاهر، والأُستاذ الدّكتور فهمي جدعان، والأُستاذ الدّكتور محمّد شاهين، وكاتب هذه السّطور ـ حتّى شبّ عن الطوق وتجسّد في هذه المجلّداتِ الثلاثة الأنيقة.

أمّا دوْري في هذا المجلّد، فكان على النّحو الآتي:

ـ اخترْت الموْضوعات والكُتّاب بعنايةٍ فائقة. بدأنا بستّة موْضوعات. لكنْ، بعْد تقليبِ النّظر واستشارة عددٍ من الزّملاء، انتهيْنا إلى ثلاثةَ عشرَ موْضوعًا. وكان لا بُدّ من عمليّةِ إنقاذ لعددٍ من الموْضوعات، بعْدَ اعتذار بعض الكتّابِ المكلّفين، وتلكؤ بعضِهم الآخر، وعدم إتقانِ العملِ أحيانًا. وأخصّ بالذكر هنا (العلوم الطبّيّة) و(التّكنولوجيا). ويُلاحظُ القارئُ أنّ فَصلَي (التّكنولوجيا) و(تكنولوجيا النّانو) كُتبا باللّغة الإنجليزيّة؛ ثمّ تُرجما إلى العربيّة.

ـ حرّرْتُ المادّةَ أوّلاً بأوّل، لدى تسلُّمِها. واقتضى ذلك منّي ليس فقط التّصويبَ اللّغوي، والعنايةَ بالتّرقيم والمصطلحات العلميّة، وما إلى ذلك؛ وإنّما أيضًا إعادة الصّياغة في كثيرٍ من المواضع، سعيًا وراء الوضوحِ والسّلاسةِ والطّلاوة. وفي المراحل المبكّرة من المشروع، استعنْتُ بمهاراتِ الأخويْن الأستاذ حيدر جميل مدانات والمهندس حسام جميل مدانات، قبْلَ أنْ يأتيَ دوْري. أمّا في المراحل المتأخّرة، فقد استعنْتُ بالمهندس حيدر عبد المجيد المومني، الذي نظرَ ببراعةٍ في بضعةِ فصول. كما أعادَ صياغةَ التّرجمة التي وردَتني من الأُستاذ الدّكتور وهيب النّاصر لفَصلَي (التكنولوجيا) و(تكنولوجيا النّانو). فالشّكر ـ كل الشّكر ـ لهؤلاء الزّملاء الأربعة على جُهودِهم الخيّرة، التي وفّرتْ عليّ الكثيرَ من العَنَت والمعاناة في هذا المشروع الضّخْم. وكان عليّ أنْ أقرأ المخطوط ـ بعد كلّ هذا ـ أكثرَ من مرّة، وأنْ أُعملَ قلمي الأحمر في عمليّةٍ تحريريّةٍ مُضنية لتوحيد المصطلحات ـ ما أمكن ـ وتوْحيد اللّغةِ

العلميّة ورفْع مستوى الكتابةِ العلميّة؛ على أمل أنْ يكونَ النّتاجُ النّهائيّ قُدوةً تُحتذى في هذا المجال.

- كذلك، راجعْتُ المخطوط مراجعةً دقيقة؛ من حيث المحتوى (في الموْضوعات التي أعرفُ عنها شيئًا!)، والكلماتُ والأسماءُ الأجنبيّة، والمعلومات والحقائقُ الواردة. وهذا اقتضى الرّجوع - على مدى عشراتِ السّاعات - إلى مواقعَ إلكترونيّةٍ عِدّة.

- أشرفتُ على عمليّةِ الإنتاج بقدر الإمكان؛ كذلك، على الاتّصالات مَعَ الكتّاب وسائر المساهمين في هذا المجلّد. فالهاجس كان - منذ البداية - «صناعة الكتاب»؛ وليس فقط وضْع مادّته.

- أدرْت الموائد المستديرةَ الثماني والمحاضرتيْن العلميّتيْن [عن (المعلوماتيّة) و(التكنولوجيا)]، التي عُقدتْ في مؤسّسة شومان، لمناقشة موْضوعاتنا، كلٌّ على حدة، مَعَ المختصّين والمهتمّين. وكانت هذه مناسباتٍ لا تُنسى؛ من حيث الأداءُ الرّفيع للكُتّاب المحاضرين، وتجاوبُ الحضور، والإثارةُ العلميّة التي أنعشتْنا وأنارَتْنا.

لا أُريدُ أنْ أُجملَ مادّةَ المجلّد؛ فأظلمَ الكُتّابَ وموْضوعاتهم. فها هي الثّوراتُ العلميّةُ التي زلزلت المعمورةَ في القرْن الماضي ومهّدت لقرْننا الحاليّ؛ ها هي تتبدّى بكلّ روْنقها وبهائها: سطراً بعْدَ سطر، وصفحةً بعْد صفحة، وفصْلاً بعْد فصل.

لقد عايشْتُ هذا المشروعَ التّنويريّ وعايشَني سنواتٍ طِوالاً؛ حتّى أصبحَ جُزءًا من كياني. وانطلقْتُ من المادّةِ المتميّزة التي قدّمَها الكُتّابُ الأفاضل كي نخلصَ إلى مجلّدٍ رفيع المستوى، يمكنُ أنْ يُشكّلَ مَرْجعًا في مجالهِ للقارئ العام، والطّالب الطّموح؛ وحتّى لأهل الاختصاص. وآمُلُ أنْ يُصبحَ هذا العملُ نموذجًا يُقتدى به في الكتابة العلميّةِ العربيّة، وفي التّحرير العلميّ المُتقَن.

وما كان هذا العملُ ليُنجَزَ لولا تضافرُ جهودٍ وكفاءاتٍ مُتعدّدة. فالشّكر الفائق أوّلاً للكُتّاب الذين قدّموا مادّةً يُعتزّ بها. والشّكر موْصول أيضًا لمؤسّستنا الرّائدة،

مؤسّسة عبد الحميد شومان؛ ممثّلة بمعالي الأُستاذ ابراهيم عزّ الدّين، الذي رعى المشروع وهو بعْد نبتة غضّة، ومعالي الأُستاذ ثابت الطّاهر، الذي دفع به في السّنين الأخيرة الصّعبة حتّى أينعَ وأثمر. ولا أنسى طاقمَ المؤسّسة؛ وأخصّ بالذّكر الأُستاذ عبد الرّحمن المصري، الذي تابع ونسّق باقتدار، ومعه الفاضلة نادية عثمان. كذلك، أشكر مَنْ ساهم في التّحرير: المهندس حيدر عبد المجيد المومني، والأُستاذ حيدر جميل مدانات، والمهندس حُسام جميل مدانات؛ وفي التّرجمة: الأُستاذ الدّكتور وهيب النّاصر، والمهندس حيدر المومني. وأُنوّه بجهود الأُستاذ الدّكتور ابراهيم النّاظر في متابعة الفصول الثّلاثة المتعلّقة بـ (التكنولوجيا الحيويّة) وتنسيقها. وأخيرًا، وليس آخرًا، أُزجي كلمة شكر خاصّة للشّابّات في دار أزمنة للنشر والتوزيع، اللّواتي تجاوبْنَ معي في أدقّ التّفصيلات، ولم يَشْعرْنَ بأيّ ملل أو كلل من تصويب الأخطاء، المرّة تلو المرّة.

بقي أنْ أتمنّى للقارئ العربيّ العزيز ساعاتٍ طوالاً من المطالعة المنيرةِ المثيرةِ المفيدة، وهو يمخرُ عبابَ (المحيط) الذي بيْن يديْه؛ انطلاقًا نحو آفاقٍ علميّةٍ أبْعَد وأعْرض وأعْمق، بعوْنِ اللّه وتوْفيقه.

هُمام غَصيب
قسم الفيزياء/كلّيّة العلوم
الجامعة الأردنيّة

عمّان؛ في ٢٠١١/٧/٢٧

الفصل الأول

العلوم الرّياضيّة

أ. د. عبد المجيد نصير



العلوم الرياضيّة

الأستاذ الدّكتور عبد المجيد نصير

مقدّمة

الرياضيات جهد إنساني تراكمي، يجري فيه البناء جيلا بعد جيل؛ لكن مع إعادة نظر في القديم، وتوسع في الجديد، وسبر أغوار أخرى في الحاضر. وهذا الجهد ينهض به عباقرة يواصلون الإبداع والبناء. وتختصر عبارة اسحق نيوتن ذلك عندما قال: «إن كنت قد رأيت البعيد، فلأني كنت أقف على أكتاف عمالقة».

وليس تعريف الرياضيات أمراً سهلا، أو مُجمعًا عليه في تفاصيله. فهذه الشجرة العظيمة الحية، التي تمتد فروعها كل يوم في السماء، وتنغرس جذور جديدة لها في الأرض، وتنبت فروعاً أخرى، وتعطي ثماراً يانعة دوماً، لا يحدها إلاّ العبقرية البشرية. ويمكن القول إن: «الرياضيات علم البنية Structure والترتيب Order والعَلاقة Relation المتطورة من الممارسات الأوّلية للعد والقياس ووصف الأشكال». وهي تتعامل بالتفكير المنطقي، والحساب الكمّيّ، والمفهوم الذهني، وتتطور إلى مزيد من التجريد Abstraction والمثالية Idealism؛ سَداها مصطلحات

غير معرفة، ولحمتها مسلمات، ونتاجها تعريفات أخرى وعبارات مبرهنة في بنية أخّاذة تتكامل أجزاؤها.

إنَّ الرياضيات علم، لأنها لا تقبل ضمن بنيتها إلاّ ما صح برهانه، في تطبيق صارم للمنطق الرياضي. وهي أميل إلى الاستقراء، وإن كان فيها شيء من الاستنتاج. لكنّها علم لا يقوم على التجربة المادية، وإن كان يستفيد منها ويفيدها. وهي علم تجاربه ذهنية؛ لكنها تعتمد الحَدْس والإلهام والاستطراد والتفصيل، تحدّياً لما هو قائم، وثورة على ما هو كائن، وانطلاقاً إلى عوالمَ أخرى. والرياضيات فن؛ فلها جمالها الداخلي، في تناسق بنيتها واستقلالية مسلّماتها، وسلاسة خطواتها، مع ذوق رفيع وتجريد جميل. وهي، بعدُ، علم الخاصّة؛ ولا بد لها من توافر الذكاء الفطري، والجد في العمل، والإخلاص في التعامل، قبل أن تنكشف الحجب، وترفع الأستار. إنها شعر العلوم، وموسيقى التجريد، وخطوط ترسمها ريشة الذهن العبقري.

ولا يوجد في التاريخ فواصلُ تأتمر بالزمن، وتلتزم بالقرون أو العقود؛ بل إن التداخل هو الأصل. وما نبت فَرْعاً غضاً في عَقْد أو قرن إلاّ أينع في عَقْد أو قرن آخر.

وإذا كان القرنُ السابعَ عشرَ، قرنُ ديكارت وفيرما ونيوتن ولايبنتز، يمثّل الثورة الأولى العظمى في الرياضيات الحديثة، فإنّ القرنَ التّاسعَ عشرَ يمثّل الثورة العظمى الثانية التي يُمكن إيجاز ملامحها فيما يأتي:

١. انتهاء سيطرة هندسة أقليدس، وظهور هندسات أخرى: منها ما سُمّي غير أقليديّة Non-Euclidean، على يد بولياي المجري J.Bolyai (١٨٠٢ ـ ١٨٦٠)، ولوباتشفسكي الروسي N.Lobachevski (١٧٩٢ ـ ١٨٥٦)، وريمَن الألماني B.Riemann (١٨٢٦ ـ ١٨٦٦)، وغيرهم؛ ومنها الهندسة الإسقاطيةَ Projective، والتفاضلية Differential. كما شهدت نهاية القرن التاسعَ عشرَ (١٨٩٩) نشر داڤد هلبرت الألماني Hilbert (١٨٦٢ ـ ١٩٤٣) كتابه «**أسس الهندسة**»؛ وفيه إعادة بناء هندسة أقليدس بناء مجرّداً تماماً على أساس المسلّمات، لتكون خالية من النواقض والنواقص.

٢ . تطور أساسيّ في علم الجبر؛ إذ لم يعد مقصوراً على الحدوديّات وحل المعادلات، بل ظهرت بنىً أخرى، مثل : الجبر الخطي Linear، بما فيها من مصفوفات Matrices، وفضاءات المتّجهات Vector spaces، وخواصها وتطبيقاتها؛ والجبر التجريدي Abstract، وذلك على يد عباقرة، مثل : آبل النرويجي N.H.Abel (١٨٠٢ ـ ١٨٢٩)، وغالوا الفرنسي E.Galois (١٨١١ ـ ١٨٣٢).

٣ . حسبنة التحليل Arithmetization of analysis؛ أي بناء التحليل على أسس عددية صارمة، على يد كوشي الفرنسي A.Cauchy (١٧٨٩ ـ ١٨٥٧)، وڤيرشتراس الألماني K.Weierstrass (١٨١٥ ـ ١٨٩٧)، وغيرهما.

٤ . انطلاق منطق رياضي مستقل عن منطق أرسطو، ابتداء بأعمال جورج بُول G.Boole (١٨١٥ ـ ١٨٦٤)، وهنري دي مورغان (١٨٠٦ ـ ١٨٧١) ثم برتراند رسل B.Russell (١٨٧٢ ـ ١٩٧٠)، وثلاثتهم إنجليز؛ وفريغه G. Frege (١٨٤٨ ـ ١٩٢٥) الألماني.

٥ . مواصلة التداخل بين الفيزياء والرياضيات، وإسهام الثانية في تقدم الأولى لبناء نظرياتها وتخليصها من شوائب التناقض، ومن سيطرة الأفكار القديمة؛ كما تجلى في معادلات ماكسويل، ثم في نظرية النسبية.

٦ . ظهور مجلاّت متخصصة في نشر البحوث الرياضية، ابتداء من مجلة **كرله** *Crelle* الألمانية (١٨٢٦)، إلى عشرات المجلات في بلدان عدّة.

٧ . ظهور نظرية المجموعات Set theory على يد الألماني كانتُر G. Cantor (١٨٤٥ ـ ١٩١٨)، مع معالجة جديدة للمجموعات اللانهائية.

٨ . ظهور عبقريات رياضية كثيرة في ألمانيا، مع زيادة الاهتمام بالرياضيات والبحوث فيها.

ملامح رياضيات القرن العشرين

بدأ القرن العشرون بثورات علمية في ميادينَ عدة، خاصة في الفيزياء. فبعد اطّراح الحتمية، وميكانيكا نيوتن، والأثير الحامل للموجات، جاءت نظريّة النسبية الخاصة

لآينشتاين، ثم النسبية العامة؛ ثم مبدأ اللايقين، ففيزياء الكم؛ وبعد ذلك النفاذ إلى الذرة انشطاراً واندماجاً، وما رافقه من رصد أجزائها، وفهم أفضل للكون. وكانت الرياضيات خيرَ مُعين، ولا تزال. مثلاً: احتاج مبدأ هايزنبرغ في اللايقين إلى جبر غير تبديلي؛ كذلك وصف الموجة لشرودنغر. أما فيزياء الكم فقد احتاجت إلى فضاء هلبرت Hilbert space ذي الأبعاد اللانهائية. وكان لا بد من فضاء ذي أربعة أبعاد وحسْبان التنسور أو التنسورات (أي الممتدّات أو الكميّات الممتدّة) لنظريّة النسبية العامة. ويمكن إيجاز أهم ملامح رياضيات القرن العشرين فيما يأتي:

أ ـ التوسع الهائل أفقياً ورأسياً في الساحة الرياضية. فيتمثّل التوسع الأفقي في بنى جديدة من الرياضيات؛ ويتمثّل التوسع الرأسي بغزارة الإنتاج، وعمق النفاذ إلى التفاصيل؛ إضافة إلى مزيد من الصرامة والدقة، واعتبار ذلك شروطا لقبول البحث للنشر.

ب ـ التشعب الغزير في ميادين الرياضيات وفروعها.

ج ـ استحالة تعمّق الشخص الواحد بفروع الرياضيات المختلفة إلى حد البحث والنشر القيّم، نظراً لتفجر المعرفة وكثرة البحوث؛ الأمر الذي دفع دارسي الرياضيات إلى التخصص الدقيق فيها.

د ـ التباعد بين المفاهيم الرياضية والموجودات المادية. فالرياضيات عالَم من صنع الإنسان: وجوده يتحقّق في الذهن البشري؛ كما تُقْبَلُ بُناهُ بعد برهنة توافقها. وهذا ميدان أسس الرياضيات Foundations of mathematics، التي تُعنى بفحص الفرضيات الأساسية للرياضيات وعملياتها وحدودها، ونقائها من التناقض. والرياضيات نموذج للاستقراء العقلي، وتستخدم على نطاق واسع في العلوم؛ واستيعاب أسسها له نتائج واسعة بعيدة المدى حتى للفكر نفسه. وكم كانت الدهشة كبيرة حين أثبت غودل K.Gödel سنة ١٩٣١، بطرائقَ لا يرقى إليها الشك، أنه في أي بنية رياضية سليمة توجد عبارات لا يمكن برهنتها صواباً أو خطأ (ضمن تلك البنية)؛ ما قد يَعني وجود أربعة خيارات منطقية: صواب؛ خطأ؛ صواب أو خطأ؛ ليس صواباً أو خطأ.

هـ ـ دخول الرياضيات المتقدمة في مناهج المرحلة الأولى من الدراسة الجامعية، ومن بعدها المدارس، باسم الرياضيات المعاصرة، في النصف الثاني من القرن العشرين. على أن رياضيات الدراسة الجامعية هذه لا تتعدى في مجملها رياضيات القرن التاسع عشر إلاّ قليلاً. ورافق ذلك كثرة الطلبة الذين يدرسون الرياضيات ويتخصصون فيها، وتحوّل دراسة الرياضيات من الخاصة إلى نطاق واسع.

و ـ كثرة الجمعيات الرياضية، والمجلات المتخصصة في ميادين الرياضيات، وكثرة النشر بأشكاله المختلفة.

ز ـ عالمية البحث والنشر. فالمجلة قد تنشر لباحثين من بلدان مختلفة، يجمعهم التخصص الدقيق، وتحكمهم معايير متقاربة؛ إضافة إلى كثرة المؤتمرات العلمية المتخصصة في المستويات المختلفة.

ح ـ دخول النساء بكثرة في ميادين الرياضيات، وتزايد نسبة المتخصصات فيها.

ط ـ اتجاه الرياضيات بقوة نحو التجريد والتطبيق معاً. فلكل من الميدانيْن باحثوه ودارسوه وأقسامه ومجلاته، ويفصل بينهما خيط رفيع. فالرياضيات البحتة تبدأ من مسلّمات (نظرية) لتنطلق إلى نتائج مبرهنة منبثقة منها. أما الرياضيات التطبيقية، فالبداية فيها من نتائج جاءت من تجارب مادية أو ما ماثلها للوصول إلى فرضيات قابلة للبرهان.

ي ـ احتلال الولايات المتحدة الأمريكية مركز الريادة في العلوم، ومنها الرياضيات. وقد استقطبت خير العقول ولا تزال، بفضل جامعات متميّزة، وتسهيلات لا نظيرَ لها، وإغراءات مالية لا تُقاوم.

٢. ميادين رياضيّة

ليس من السهل الحديث عن ميادين الرياضيات في القرن العشرين في صفحات قليلة. لكن يمكن تقديم بعضها بإيجاز، مثل: أسس الرياضيات، والطبُولوجيا، والإحصاء والاحتمالات، والجبر، والحاسوب والحوسبة، والتحليل الرياضي، ونظرية الرسوم، وفروع أخرى.

أ ـ أسس الرياضيات

بدأت نظرية المجموعات مع جورج كانتُر أواخرَ القرن التاسع عشر. ولعدم الدقة في البداية، ظهرت بعض المحيِّرات(المفارقات) Paradoxes؛ وأشهرها محيّرة رَسل. وأصلها المجموعة التي تحوي نفسَها عنصراً. وصياغتها اللطيفة هي في حلاّق القَرية الذي يحلق ذقنَ كل من لا يحلق لنفسه؛ فمن يحلق ذقن الحلاق؟ وأمكن التغلب على هذه المشكلة وغيرها بمعالجة افتراضية Axiomatic للمجموعات، كما فعل زرميلو Zermelo (١٨٧١ـ١٩٥٣)، الذي بنى المجموعات على سبع مسلّمات، وعدّلها سنة ١٩٣٠ فرانكل A.Fraenkel (١٨٩١ـ١٩٦٥)؛ إحداها مسلمة الاختيار Axiom of choice، التي كانت قد حيّرت الرياضيين في كونها مستقلة أم لا. ثم انتهوا إلى أنها مستقلة عن المسلّمات الأخرى؛ ثم ظهرت صيغ عدة مكافئة لها. ومع ظهور المنطق الرياضي، اختلف الرياضيّون في نظرتهم إليه. فالمدرسة المنطقية Logistic school، وعلى رأسها برتراند رسل وألفرد نورث وايتهد A.N. Whitehead (١٨٧١ ـ ١٩٤٧)، رأت أن المنطق هو الأصل وأن الرياضيات فَرْع له. لذلك اعتبرت أن مبرهنات الرياضيات هي مبرهنات في المنطق. ورأت كذلك أنه يجب أنْ تُعادَ صياغة المفاهيم الرياضية لتصيرَ مفاهيمَ منطقية. وبلغت المدرسة أوجها مع نشر رسل ووايتهد كتابَهما «**أسس الرياضيّات** *Principia Mathematica*» في ثلاثة أجزاء (١٩١١ ـ ١٩١٣). ويبدأ الكتاب «بأفكار أولية» و«فرضيات أولية»، تناظر «مصطلحات غير معرّفة» و«المسلّمات» عند المدرسة الصوريّة. وهذه لا تُبرهَن؛ بل يُبرهَن اتساقها (انسجامها معاً) Consistency. ومن هذه جرى تطوير مفاهيم رياضية ومبرهنات، ابتداء من حسبان الفرضيات Calculus of propositions. وقد حاول المؤلفان أن لا يقعا في تناقضات، وذلك باستخدام« نظريّة الأنواع» Theory of types. واختلف الرياضيّون في تقويم هذا المشروع. فمنهم من رأى أنّه أدّى المهمة؛ في حين عارضه كثيرون. ومع أن هذه المدرسة ساهمت في فهم أسس الرياضيات، خاصة البرهان الرياضي، إلاّ أنها عجزت عن تفسير النشاط الذهني الرياضي؛ إذ إنّه ليس تلاعباً بالرموز والاستنتاج بالمنطق. كما لم يستطع رسل وجماعته حصر الرياضيات في إطار المنطق.

كذلك ظهرت المدرسة الصوريّة Formalism، وعلى رأسها هلبرت. ودعواها أنّ الرياضيات مهتمة بالأنظمة الرمزية الصورية. وهي تجميع لتصورات تجريدية، عناصرها رموز وعبارات تتعامل مع هذه الرموز. والأساس الأهم للرياضيات ليس في المنطق؛ لكن فيما قبل المنطق من إشارات أو رموز ومجموعة من العمليات تتعامل معها. وليس للرياضيات محتوى مادّيّ؛ لذلك، فإن برهنة الاتساق لمختلف فروع الرياضيات تغدو لزاماً وأمراً مهماً؛ ما يعني أن الصوريين دفعوا بالبينة الافتراضية للرياضيات إلى أبعد مدى. ويصير المنطق خادماً فَرْعاً للرياضيات وليس أصلاً. وحاولت المدرسة الصورية حل المتناقضات في نظرية المجموعات.

عمل هلبرت وجماعته: برنيز Bernays، وآكرمان Ackerman، وفون نوْيمان Von Neumann، وغيرهم، منذ سنة ١٩٢٠، على إطلاق ما سُمّي المشروع الصوري. وكان نجاح هذا المشروع معلقاً على برهنة الاتساق، لضمان عدم وجود تناقضات. على أنّ إثبات الاتساق المطلق غير ممكن؛ لذلك، كان أفضل الممكن هو إثبات الاتساق النسبي، وهذا نجح في تطوير «نظرية البرهان Theory of proof». وعمل هلبرت وبرنيز على إعطاء عرض مفصل لنظرية البرهان في سفْرهما الضخم «**أسس الرياضيّات** *Grundlagen der mathematic*»، الذي نُشر جُزؤه الأول سنة ١٩٣٤ والثاني سنة ١٩٣٩. ولم يكن بالإمكان برهنة الاتساق للنظام بأكمله؛ بل لفروع منه.

لكنّ ضربة غودل سنة ١٩٣١ (التي أشرنا إليها آنفا) حكمت على هذا المشروع بالفشل؛ إذ برهن على عدم تمام Incompleteness نظام هلبرت للرياضيات التقليدية. ففي هذا النظام توجد مسائل غير قابلة للتقرير Undecidable (أي لا يمكن إثبات صوابها أو خطئها).

وظهر في الثلث الأول من القرن العشرين بروڤر الهولندي ومدرسته الحَدْسية Intuitionism. فقد عَدّ فيلكس بروڤر F.Brouwer (١٨٨١ ـ ١٩٦٦) المتناقضات والمحيّرات في نظرية المجموعات أعراضاً خطيرة في البنية الرياضية، وليست أخطاء من الرياضيين. وقامت هذه المدرسة على إنكار كل ما هو خارج عن

الرياضي؛ والحقيقة هي ما أثبته الرياضي أو ما يمكن إثباته، ويجب بناء الرياضيات بطرق بناءة ذات خطوات متناهية منطلقة من متتالية الأعداد الطبيعية المقبولة أصلاً. وهي مقبولة لدى الإنسان بجميع مراحله وحضاراته، عرفها بسبب حدسه الفطري. وبهذا، فالحدسيون ينكرون وجود اللانهائي؛ لأنه لا يمكن تركيب شئ حتى اللانهاية. والرياضيات نشاط ذهني؛ وليس مجموعة رموز ومسلّمات أو مبرهنات. هذا النشاط يؤدي إلى بنى رياضية استقرائية تعميمية. وكل خطوة تأتي من ما قبلها. وعندهم أن المنطق فَرْع من الرياضيات. كما أنهم لا يرفضون الاختيار الثالث.

بدأت هذه المدرسة سنة ١٩٠٨. وقد نجح الحدسيون في اعادة بناء كثير من الرياضيات الحديثة، بما فيها نظرية الاتصال ونظرية المجموعات. على أنّ الرياضيات الحدسية كانت أقل قوة من الرياضيات التقليدية، وأكثر تعقيداً عند التطوير؛ لكن طرقها لا تؤدي إلى تناقضات.

ولم يتحمس الرياضيون لهذه المدرسة؛ لأنهم اعتبروا الرياضيات جُزءاً من العلم الذي وظيفته كشف الحقائق. وهذا ما لا تقره المدرسة الحدسية؛ بل إنّ بروفر نفسه كان يلجأ إلى براهين وطرائق خارج مدرسته في بحوثه.

ب ـ الطبولوجيا Topology

يعدّ المؤرخون كتاب «**التحليل المكاني** *Analyse des Sites*» لهنري پوانكاريه H.Poincaré بداية الطبولوجيا علماً مستقلاً عن الهندسة. وليس من السهل وصف هذا العلم؛ لكنه يبحث في الملامح الفضائية للأشكال التي تُعَدّ أنها لا تتغيّر إذا طرأ عليها شد أو ضغط أو تشويه. فالسجادة المفروشة والأسطوانة متماثلتان طبولوجياً لأنه يمكن لف السجادة لتصير أسطوانة. وهذا ما سُمّي طبولوجيا مجموعة النقطة Point-Set. وقد وضع الألماني فيلكس هاوسدورف F.Hausdorff (١٨٧٨ ـ ١٩٤٢) البنية الافتراضية لهذا العلم في كتابه «**أسس نظرية المجموعات**»، المنشور سنة ١٩١٤؛ معتمدا على مفاهيم المسافة والجوار والنهاية لتعريف الفضاء الطبولوجي (فضاء هاوسدورف). ثم تابع ليعرّف مفاهيمَ الانفتاح، والانغلاق، والاتصالية

Connectivity، والتراص Compactness للفترات، ومفاهيمَ أخرى.

وترعرعت الطبولوجيا التوافيقيّة Combinatorial topology من دراسة فكرة الاتصالية لسطح في الفضاء. وطوّر هذا المفهومَ ريمان، وتحسّن على يد بعض فيزيائيي منتصف القرن التاسع عشر في دراستهم ديناميكا الموائع والكهرَمغناطيسية. وكان إنريكو بتي E.Betti قد عمّم فكرة الاتصالية المتعددة سنة ١٨٧١ لفضاءات ذات (ن) من الأبعاد؛ في حين عالج پوانكاريه الموضوع بطريقة الهمولوجيا Homology. وعُرّف عدد بتي Betti Number (Bp) عنصراً في (V) فضاء ذي (ن) من الأبعاد.

أما نظرية الهمولوجيا الحديثة فقد طوّرها عدد من الرياضيين في بداية القرن العشرين؛ ومنهم جيمس ألكسندر J.W.Alexander (١٨٨٨ ـ ١٩٧١) سنة ١٩٢٦. وعرّف مُبَسَّطةً Simplex ذات P من الأبعاد ومعقّدة Complex. وطبّق تعريفه للهمولوجيا على سلاسلَ مغلقة Closed chains.

ثم ظهرت مع منتصف القرن العشرين الطبولوجيا الجبرية Algebraic topology، مع ألكسندروف P.S.Alexandrov (١٨٩٦ـ١٩٨٢) سنة ١٩٢٦ـ١٩٢٧. وكان مقيماً في غوتنغن؛ مستمعاً إلى محاضرات إيمي نويثر E.Noether (١٨٨٢ـ ١٩٣٥).

وانشغل بهذا الموضوع ليوپولد ڤيتوريس L.Vietoris (ولد ١٨٩١)، وهاينز هوپف H.Hopf (١٨٩٤ـ ١٩٧١). كما نشر ڤالتر ماير W.Mayer (١٨٨٧ـ ١٩٤٨) سنة ١٩٢٨ بنية افتراضية للزمر الهمولوجيّة. ثم توسع الموضوع مع صموئيل آيلنبرغ S.Eilenberg (ولد ١٩١٣) وصوندرز ماكلين S.MacLane (ولد ١٩٠٩) في بحوثهما حول الطائفة Category سنة ١٩٤٥. وسمّيا اقترانا معرّفاً من طائفة إلى أخرى قَرَانا Functor؛ ما أدّى إلى تجريد التجريد.

عُرِّفت الطائفةُ C على أنها ثنائي { A, α }؛ حيث A تجميع لعناصر مجردة (مثلاً زُمَر) تُسمّى أشياء Objects، وعنصر مجرّد α (مثلا هومومورفزم)؛ أي تماثل شكلي يُسمّى تطبيقاً Mapping للطائفة. فإذا كانت C= {A, α}، D= {B, β} طائفتَين، نعرّف قراناً T من C إلى D على أنه زوج من الاقترانات يُرمز لكل منهما بالرمز T،

وهما اقتران أشياء واقتران تطبيق؛ أي أنه؛ إذا كان $\alpha : A \rightarrow A'$، حيث $A \in C$ ، $T(A) \in D$ ؛ فإنّ $T(\alpha) : T(A) \rightarrow T(A') \in D$.

وأخيراً، فقد حُلّت إحدى المسائل الشهيرة التي عُلّقت لأكثرَ من قرن، وهي مسألة الألوان الأربعة؛ حيث لا تتشارك منْطقتان متجاورتان باللّون نفسه، على شرط أنْ لا يكونَ الجوار نقطة. والمسألة قديمة منذ ١٨٥٢، وعمل عليها عدد من الرياضيين، حتى حلّها كنيث أپل K.Appel (ولد ١٩٣٢) وولفغانغ هاكن (ولد ١٩٢٨) سنة ١٩٧٦ باستعمال الحاسوب. وكانت هذه أوّلَ مرّة يُستعمل فيها الحاسوبُ للبرهان؛ ما أثار جدلاً بين الرياضيين.

ج ـ الإحصاء والاحتمالات

الإحصاء والاحتمالات ميدانان رياضيّان مختلفان؛ لكنهما مترابطان. وأصول الإحصاء من جمع بيانات وتحليل بسيط لها قديمة جداً. والإحصاء علم تطبيقي عمّ انتشاره في جميع ميادين المعرفة، مثل الإدارة والصناعة والأعمال والطب والقانون والآداب. وفي الإحصاء أدوات فعالة للتحليل والاستنتاج؛ مثل: اختبار الفرضيّات Test of hypotheses، وتصميم التجارب Experiment design، والاستدلال الإحصائيّ Statistical inference، وتحليل التغيّر Analysis of variance، والتوزيعات المختلفة Distributions، والارتباط Correlation، والانحدار Regression، وسلاسل الزمنَ Time series، وسلاسل ماركوف Markov chains.

تنبع الحاجة إلى الإحصاء من كوْن القوانين التي تحكم نشاط الطبيعة غيْرَ معروفة تماماً؛ وكل ما يُعرف فرضيّات تدعمها حقائق الرصد، وهي قابلة للتطوير والتحسين. وإذا كان للعلم طريقتان: استنتاجية تبدأ ببيانات، ومعرفة سابقة تنتهي بالتحقيق؛ فإنّه في حالات كثيرة، خاصة في الإنسانيات والعلوم الحياتية حيث عدد الأرصاد قليل، تُقَدِّم الطرق الإحصائيّة طريقةً ثالثةً توصل إلى تقدير كمّيّ لأهمّيّة النتائج. وهذا ما يجري في تحليل النصوص الأدبية، أو التطبيقات في علم الوراثة ومفرداته وتحليلاتها.

ولمْ يدخل الإحصاء في المناهج الجامعية إلاّ في العَقدَيْن الرابع والخامس من القرن

العشرين. والفضل في إرساء قواعده يعود إلى السير آرنولد فيشر A.Fisher (١٨٩٠ـ ١٩٦٢). وأوّل من أطلق مصطلح Statistics (الإحصاء) هو الألماني أشنقال G.Achenwall في منتصف القرن الثامن عشر. وأسّس كارل پيرسون C. Pearson (١٨٥٧ـ ١٩٣٦) مجلة «بيومتريكا *Biometrica*» مع بداية القرن العشرين؛ كما قدّم اختبار مربع كاي Chi-square test.

تُعَدُّ مراسلات فيرما وپاسكال حوالي سنة ١٦٥٤ حول نتائج اللعب بالنرد بدايةً لعلم الاحتمالات. لكنّ نضوجَ هذا العلم كان في القرن العشرين. وفي نصفه الأول تطور الإحصاء والاحتمال إلى علم رياضي ناضج، ودخل المناهج الجامعية. ودرس الروسي أندريه ماركوف A. Markov (١٨٥٦ـ ١٩٢٢) سلاسل الأحداث؛ فربط الإحصاء بالاحتمالات. ووضع كولمُغورف A.Kolmogoroff (ولد ١٩٠٣) الأسس النظرية للاحتمالات، في بنية استخدمت فضاء هلبرت ونظرية المقياس لليبيغ H.Lebesgue (١٨٧٥ـ ١٩٤١). ووسع لورنت شڤارتز L.Schwartz مفهوم الاشتقاق ليتجاوزَ حالات الاتصال. وكان إميل بورل E. Borel (١٨٧١ ـ ١٩٥٦) قد وضع سنة ١٩٠٩ كتابه «**مبادئ نظريّة الاحتمالات**».

د ـ نظريّة المعلومات Theory of Information

هذا ميدان واسع، ولا يزال يتوسّع. فانطلاقاً من مَنْطَقة الرياضيّات (تحويل الرياضيّات إلى المَنْطق)، توصّل الرّياضيّون إلى إحداث تحقيق تطورات في نظرية اللغة، ونظرية المعلومات، وأجهزة الضّوابط الآلية Servomechanisms، ونظرية الألعاب، وبحوث العمليّات، والحواسيب. والقاسم المشترك بين هذه الميادين هو حاجتها لآلية تترجم الأوامر المعطاة من لغة رمزيّة إلى لغة مفهومة أخرى، أو إلى أعمال.

وقاعدة نظريّة المعلومات هي إيجاد تناظر واحد إلى واحد بين أي لغة والرياضيات. وأبسط مثل لذلك هو التمثيل الثنائي للحرف أو الرقم أو الرمز؛ أي باستعمال العددين ٠ , ١. وهذا يُمكّن من خزْن المعلومات واستعادتها. فنقل عبارة، أو صورة، أو كلمة،

أو معادلة رياضيات إلى معلومات مخزونة في بنك ذاكرة، أو قاعدة بيانات حاسوبية، أو نَبيطة بصريّة (شريط فلم أو شريحة)، أو شكل صوتي (شريط مغناطيسي) يحتاج إلى الاسترجاع. ويهمُّنا هنا تحديد خسارة المعلومات في أثناء الاسترجاع. وهذا هو مبدأ نظرية المعلومات. والرياضيات هي الوسيلة الفعالة لذلك. ومن نظرية المعلومات، توصل العلماء إلى ربْط المعلومات بمفهوم الاعتلاج (إنتروبيا)Entropy في الديناميكا الحراريّة.

واسترجاع المعلومات قد لا يكون من مصدر بعيد دائماً؛ بل قد يكون ضمن الوحدة نفسها، كما هو الحال في الأجسام الحية، أو حتى داخل الخلية الواحدة. وهنا تأتي الأجهزة ذات الضبط الذاتي. والسائق وسيارته مَثَل لذلك؛ حيث يضبط السائق حركة السيارة واتجاهها بناء على معلومات آنية. وهذا يقود الى علم جديد من علوم القرن العشرين وهو السبرنطيقا (التحكّم الأوتوماتيّ) Cybernetics. وهو علم وضع أسسه نوربرت ڤاينر N.Weiner (١٨٩٤ـ١٩٦٤)، ويختلف عن علم المعلومات بوجود آليّة التغذية الراجعة Feedback.

تفرّع من نظرية المعلومات ما سُمّي نظريّة الألعاب Game theory، التي بدأت مع هلبرت وپوانكاريه؛ لكن بطلها هو جون فون نويمان (١٩٠٣ـ١٩٥٧) المجريّ الأصل. وهي رياضيّات تطبيقيّة لتحليل أوضاع معينة؛ حيث الأطراف التي تلعب لها اهتمامات متماثلة أو متعارضة أو خليط من ذلك. بدأ فون نيومان وأوسكار مورغنتنسن O. Morgentenson بكتابهما «**نظريّة الألعاب والسلوك الاقتصادي**» سنة ١٩٤٤. وكانت غايتهما إنشاء استراتيجية تطبق على الاقتصاد لخدمة المجتمع؛ الأمر الذي دفعهما إلى تطوير نظرية ألعاب لمجموع غير صفري، مقابل نظريّة الألعاب الكلاسيكية ذات المجموع الصفري. فاللعبة في الاقتصاد بها ثلاثة أطراف : إدارة وعمّال ومجتمع. وبما أنّ الربح مطلوب، فالمجموع ليس صفريا. كذلك الحرب لُعبة غيْر صفريّة. وفي لعبة اتخاذ القرار، يكون لكلّ من اللاعبين أهدافه، ويحاول أنْ يبزّ الآخرين بأنْ يتوقّعَ قراراتهم. ونظريّة الألعاب تؤكد النواحي الاستراتيجيّة، وليس الحظ؛ وهذا يميزها عن الاحتمالات.

وقد انبثق منها المحاكاة Simulation، بدأها فون نويمان سنة ١٩٤٠ بطريقة محاكاة مونتي كارلو لتحليل الظواهر النوويّة المعقّدة التي تدخل في بناء قنابل ذريّة أو مفاعلات نوويّة.

هـ- الأمثلية Optimization

هذا علم جديد من علوم القرن العشرين يبحث في الأسلوب المناسب لتحسين قيمة كمية عددية أو زيادتها إلى الحد الأقصى أو الأمثل. وقد تكون هذه الكمية على هيئة حرارة، أو جريان هواء، أو جوائز لعبة ما، أو جاذبية سياسية، أو قوة تدميريّة، أو معلومات، أو فوائد مالية. ولا يمكن وصف هذه الأساليب بإيجاز؛ إلاّ أنها تشمل البرمجة الخطية Linear programming، حيث المطلوب ايجاد القيمة القصوى لاقتران خطّي يخضع لشروط خطية، كما تشمل البرمجة غير الخطّيّة. ولها عَلاقة بنظريّة الألعاب.

و- الهندسة Geometry

شهد القرن التاسعَ عشرَ هندسات عدّة كما أسلفنا. وشهد القرن العشرون ظهور ما سُمّي الهندسة التوافيقيّة Combinatorial geometry؛ وهي هندسة تهتم بترتيبات العناصر الرياضية ووسائل الاختيار، ومناحٍ معينة من الاحتمال. ومن مسائلها الأساسيّة تحديد عدد التشكيلات Configurations الممكنة (رسوم؛ تصميمات؛ صُفَيْفَات Arrays) لنوع ما.

ز- الجبر Algebra

بقي الجبر حتى القرن التاسع عشر معنياً بالحدوديّات والمعادلات وحلولها؛ لكنّ ذلك القرن شهد انعطافاً جديداً ونشوءاً لنوعيْن من الجبر: الخطي والمجرد. وشهد القرن العشرون مزيداً من التوسع والعمق في هذيْن الميدانيْن.

ويُعنى الجبر بمسائلَ خطّيّة؛ أي مسائل تعتمد في حلها على عَلاقات خطية؛ ما أدخل مفاهيم المصفوفات، وفضاءات المتّجهات. وهذه أفكار القرن التاسع؛ لكن القرن العشرين شهد تحسينات وإضافات وتطبيقَاتٍ كثيرة.

أما الجبر المجرّد فيهتم بصياغة أنظمة جبرية مجردة وخصائصها. ولكل من هذه الأنظمة عناصره ومسلّماته وخواصه. وشهد القرن التاسع عشر ظهور بنية الزمرة Group. وفي القرن العشرين ظهرت بنية الحلقة Ring والحقل Field.

بدأ مفهوم الحلقة مع الأمريكي بنجامين بيرس B. Pierce (١٨٠٩ـ١٨٨٠)، الذي سمّاها Linear associative algebra حوالي ١٨٧٠. ودرس آخرون ما سُمّي الجبر البسيط Simple. وطبّق إيلي كارتان E. Cartan الجبر البسيط على الأعداد المركّبة؛ كما عمّم أعماله جوزيف ودربرن J .Wedderburn (١٨٨٢ـ١٩٤٨). وتابع التفصيل والتصنيف آخرون، مثل: هلموت هاسي H. Hasse، وريشارد براور R.Brauer (١٩٠١ـ١٩٧٧)، وإيمي نويثر؛ وهي تصنيفات تعتمد نظرية العدد الجبرية.

ولحلقات نويثر Noetherian rings أهمية خاصة. فهي حلقات تبديلية ذات عنصر حياد تحقق شرط السلسلة التصاعديّة Ascending chain؛ حيث لكل سلسلة مثاليّات $I_1, I_2,...I_k$، يتحقّق الشرط $I_k \subset I_{k+1}$، وتنقطع السلسلة بعد عدد نهائي من الحدود.

ومن تفريعات الجبر الحديثة ما سُمّي المكسرات Fractals، الذي طوّره مندلبروت Mandelbrot من مفهوم الزمرة. والمكسرة تنتج من تتابعات Iterations لانهائية لعملية هندسية معينة. ومن مسائلها البحث في إمكانية الانطلاق من المكسرات للوصول إلى جميع أشكال المناسيب Contours.

وقدم لينارد دكسون L.E. Dickson (١٨٧٤ ـ ١٩٥٤) مفهوم الحقل سنة ١٩٠٣. والحقل مجموعة من العناصر تُعرف عليها عمليتان (+ ، ٠)، وتخضع لمسلّمات تحدد صفات الإغلاق والتبديل والتجميع، ولها عناصر حياد وعناصر نظير لكل عملية؛ إضافة إلى خواص التوزيع. ثم تبع ذلك تصنيف الحقول، كما فعل إرنست ستاينتز E. Steinitz (١٨٧١ ـ ١٩٢٨) سنة ١٩١٠: من حقل أوّليّ Prime، وحقل جبريّ Algebraic، وآخر متسام Transcendental. هذه البحوث أوصلتنا إلى مفهوم فضاءات المتّجهات، الذي بُني بمسلّمات الألماني هيرمان ڤيل H.Weyl (١٨٨٥ ـ ١٩٥٥) سنة ١٩١٨.

ويلحق بالجبر نظريّة الأعداد Number theory ؛ وهو موضوع قديم تناوله الإغريق ومَنْ بَعْدَهم. والإضافات فيه قليلة ؛ لكن تداخل حلول مسائله مع ميادين أخرى أدّى إلى تقدّم في هذه الميادين. ومن أشهر مسائله «مسألة فيرما الأخيرة» ؛ وهي إثبات أنّ المعادلة

س ن + ص ن = ع ن

ليس لها حل في الأعداد الصحيحة الموجبة إذا ن ≥ ٣. وقد حلها أخيراً (سنة ١٩٩٤) الأستراليّ المولد أندرو وايلز A.Wiles، بعد أن دخل في ميادينَ رياضيّة عدّة ذات عَلاقة بالمسألة.

ح - التحليل الرياضي Mathematical Analysis

يكاد التحليل الرياضيّ بفروعه أن يكونَ أقدم ميادين الرياضيات التي شهدت تطوّرات ثوريّة مثيرة منذ النهضة الأوروبية. ومنذ عصر نيوتن ولايبنتز، تجمّعت معلومات هائلة في التحليل، مَعَ أنّها لم تكن خالية من الضعف أو التناقض. وكان القرن التاسع عشر، كما أسلفنا، فرصة لترتيب بيت التحليل الرياضي، وإعادة بنائه بنيةً رياضيّةً صارمة على يد عدد من كبار الرياضيين ؛ من أمثال : كوشي، وغاوس، وددیكند، وريمان، وريشلت، وڤيرشتراس، وبلزانو، وفورييه، وبورل، وكانتور.

توسّع التحليل في القرن العشرين ودخل إلى مناطق كانت محظورة؛ تحديداً في توسيع مفهوم الاقتران ليشمل حالات شاذة، وتحليلها بأدوات الاشتقاق والتكامل، وتطبيقها. وهكذا ظهرت الاقترانات المعمّمة Generalized functions، وعمل على ذلك لورنت شڤارتز. ومن هذه الاقترانات، اقتران دلتا ديراك :

$$f_{\in}(x) = \begin{cases} 1/\in, & 0 \le x \le \in \\ 0, & x > \in \end{cases}$$

$$\int_{0}^{\infty} f_{\in}(x)dx = 1;$$

$$\delta(x) = \lim_{\in \to 0} f_{\in}(x);$$

$$\int_{0}^{\infty} \delta(x)\,dx = 1;$$

$$\int_{0}^{\infty} \delta(x-a) g(x) dx = g(a).$$

ويمكن ان يمثّل $\delta(x)$ قوة مركزية تعمل للحظة قصيرة جداً.

وعالج الرياضيّون مسألة التكاملات بشروط مختلفة كانت تُخفّف كلّ مرّة. فظهرت التكاملات الآتية: تكامل ستيلتجز، نسبة إلى الهولندي ستيلتجز T.Stieltjes (١٨٥٦ـ١٨٩٤)؛ وهو أعم من التكامل حسبَ ريمان. كذلك، بناء على نظرية المقياس Measure theory، ظهر تكامل لبيغ، نسبة إلى الفرنسي H. Lebesgue (١٨٧٥ـ١٩٤١)؛ وهو اقتران يقبل مجالاً يحوي مجموعة عدادية Denumerable، حيث الاقتران منفصل. ونذكر سريعاً التكامل حسب الفرنسي دنجوي A. Denjoy (١٨٨٤ـ١٩٧٤)، الذي عمم فكرة لبيغ ليصير التكامل نهاية مجاميع وأصل مشتقة Antiderivative في آن (١٩١٢). كما قدم المجري ألفرد هار A. Haar (١٨٧٨ـ١٩٧٣) تعريفاً آخر للتكامل.

وانطلاقاً من التكامل (نهاية مجاميع)، جرى تعميم ذلك ليشمل حالات مثل:

$$\lambda f(s) = \int_{0}^{\infty} K(s,t) f(t) dt,$$

حيث λ عدد حقيقي (مَعْلَم Parameter)، و$f(t)$ اقتران غير معلوم؛ في حين $K(s,t)$، يُسمى نَوَاة Kernel. هذا التكامل مَثَل أيضاً على مؤثّر خطّي Linear operator؛ ما يسمح باستخدام طرق جبرية. وقد نتجت مثل هذه المعادلات التكاملية Integral equations من حل مسائل تردّد موجية. وقد نسمي التكامل تحويلاً تكاملياً Integral transformation؛ من هذه التحويلات: تحويل لا پلاس الشهير، وكذلك تحويل فورييه، وتحويل هانكل Hankel، وتحويل ملن Mellin، وغيرها.

درس هذا النوع من المعادلات التكاملية كلّ من ڤولترا الإيطالي Vito Volterra،

والسويدي فردهولم Ivar Fredholm (١٨٦٦-١٩٢٧)، الذي وسّع تطبيق المَعْلم λ من حالات صوتية إلى أخرى ضوئية؛ ما عُرف بطيف Spectrum القيم المميزة Eigenvalues.

وعمل هلبرت على توسيع مفهوم الفضاء الأقليديّ إلى آخرَ مجرّد سُمّي فضاء هلبرت. وعُرّف فيه اقتران سُمّي اقترانياتيّا(أي اقتران الاقتران) Functional؛ ما أوجد ميداناً جديداً هو التحليل الاقترانياتيّ Functional analysis. وكان الرياضي البولندي باناخ Stephen Banach (١٨٩٢ ـ ١٩٤٥) قد أوجد صنفاً جديداً من فضاءات الاقترانات أعم من فضاء هلبرت. كما أنّ الأمريكيّ مور E. H. Moore (١٨٦٢ ـ ١٩٣٢) والفرنسيّ فريشيه Maurice Frechet (١٨٧٨ ـ ١٩٧٣) عمّما أعمال ڤولترا وهلبرت في الاقترانيات إلى فضاءات مجرّدة. واستخدم فريشيه، ابتداء من أطروحته للدكتوراة سنة ١٩٠٦، عناصر مطلقة الاختيار مثل المنحنيات أو النقاط، ووجد أنّ مفهوم المسألة ليس ضرورياً، و أكّد الخصائص التحليلية (لامتناهية الصّغر Infinitesimal) للاقترانياتيّ.

وقفز التحليل العددي Numerical analysis قفزات هائلة نظرياً وتطبيقاً في القرن العشرين؛ خاصة بعد إدخال الحوسبة في خوارزمياته، ودراسة الخصائص التحليلية للتشويش Noise والأغلاط Errors. وصار الحل العددي لمسائل من المعادلات التفاضلية العادية أو الجُزئية، أو المعادلات التكاملية أو التكاملات، أو نظم المعادلات الخطية، وغيرها، أمراً سهلاً باستخدام الحاسوب.

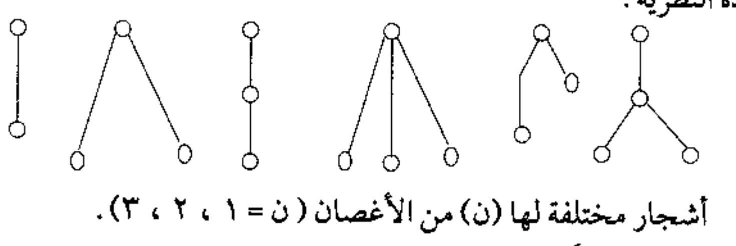
وظهرت نظرية الشواش (الفوضى) Chaos من مراقبة المنظومات الدّيناميّة مثل النجوم الثنائية، أو المنظومات الكوكبية، المحكومة بقوانينَ دقيقة؛ ومع ذلك قد يظهر لها سلوك غير متوقع في ظرف ما، وهو سلوك فوضويّ. وأبسط مثل لذلك هو مدار ساتل (قمر صناعي) يُطلق من الأرض ليدور حولها في مدار هو قطع ناقص، يتحدد بالشروط الابتدائية ومنها سرعة الانطلاق، وهي سرعة لا يمكن قياسها بدقة تامة؛ ما يَعني أنّ مدار الساتل هو ضمن مجموعة من القطوع الناقصة. وهذه من حالات الفوضى. وقد بدأت دراسة هذا الموضوع منذ ١٩٦٠.

وأخيراً نذكر الحسبان الكسري Fractional calculus ؛ وهو الحسبان الذي يتعامل مع $\frac{d^{\alpha}y}{dx^{\alpha}}$ ، حيث α عدد حقيقي أو مركب ، سالب أو موجب . وقد بدأ السؤال مع لايبنتز ؛ لكن ليوڤيل J. Louiville (١٨٠٩ ـ ١٨٨٢) كان أول من قدّم تعريفاً لحالة α عدد حقيقي . وجرى تقدّم كبير لهذا الموضوع في القرن العشرين على يد عدد من الباحثين ، ومنهم العربي العراقي محمّد علي البصّام . وللموضوع تطبيقات كثيرة .

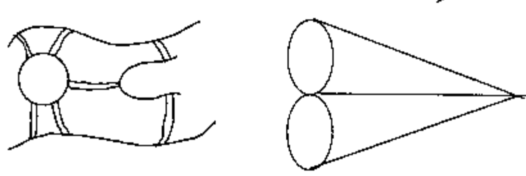
ط ـ نظرية الرسوم Graph Theory

يعني الرسم ـ اصطلاحاً ـ مجموعة غير خالية عناصرها تُسمّى رؤوساً Vertices ، ومجموعة أخرى عناصرها تسمى حواف Edges . وكلّ حافة تتألف من رأسين . ونظرية الرسوم بدأت مع أويلر Euler سنة ١٧٣٦ في محاولته حل مسألة جسور كونغزبرغ Königsberg ، وكان حلّه جبرياً . وأعاد الاهتمام بها وليم هاملتون W. Hamilton (١٨٠٥ ـ ١٨٦٥) ، الذي حول المسألة سنة ١٨٥٦ إلى لُعبة تباع في الأسواق . كما اهتم آرثر كايلي A.Cayley (١٨٢١ـ١٨٩٥) بالموضوع ؛ فقدّم مفهوم الشجرة Tree والشجرة المجذّرة Rooted tree ، والرؤوس التي سمّاها عُقداً Knots ، ومفهوم الأغصان Branches .

لكنّ المسألة التي ميّزت هذا العلم هي مسألة الألوان الأربعة ؛ وهي مسألة ذكرناها في الطبولوجيا ، وإن كان اعتبارها ضمن نظريّة الرسوم . وكان لمحاولة حلها أثر مهمّ في تطوير هذه النظريّة .



أشجار مختلفة لها (ن) من الأغصان (ن = ١ ، ٢ ، ٣) .



ي ـ الحاسوب والحوسبة : Computer and Computerization

اختُرِع الحاسوب (الإلكتروني) أداة للحساب السريع أوّلاً؛ ثم صار بداية لثورة علمية كبرى ميّزت النصف الثاني من القرن العشرين. وسيظل الحاسوب أهم ما يطبع اتجاه العلوم والتكنولوجيا في العقود الأولى من القرن الحادي والعشرين. ولا نريد أن ندخل في تاريخ هذه الآلة وتطورها المادّيّ حتى وصلت إلى ما وصلت إليه؛ ابتداء من إنياك ENIAC سنة ١٩٤٤، إلى آخر حاسوب ضخم أو شخصي موجود. لكننا نشير بإيجاز إلى ملامح هذه القفزة :

١ . الاعتماد الكلي على الإلكترونيات المتقدمة وتطبيقاتها (التكامل فائق المقاس LSI)؛ ما مكّن الصانعين أن يختصروا حاسوباً كان حجمه عشرات الأمتار المُكعّبة قبل ثلاثين عاماً إلى آخَر أفضل منه وأطوع يوضع على المنضدة أو يُحمل باليد.

٢ . البحوث النظرية التي سبقت هذه الآلة وصاحبتها؛ ابتداء من أفكار بابج الإنجليزيّ C.Babbage (١٧٩٢ـ١٨٧١)، ومروراً بآلان تيورنغ A. Turing (١٩١٢ـ١٩٥٤) وفون نويمان وكلود شانون (ولد ١٩١٦)، وغيرهم.

كانت رسالة شانون للماجستير في معهد مساتسوشيتس للتكنولوجيا MIT سنة ١٩٣٨ ذات أثر مباشَر على تطوير الحاسوب. فقد طبق جبر المنطق الذي طوره جورج بول قبل قرن تقريباً لتركيب دارات فتح وإغلاق ذات صفات معينة، واستخدم التمثيل الثنائي: صفر ليمثل الدارة المغلقة، والعدد واحد لتمثيل الدارة المفتوحة؛ ومن ثمّ أمكن تمثيل دارات على التوازي أو التوالي، سواء أكانت دارات مفتوحة أم مغلقة.

أما تيورنغ فقد اهتم بالحاسوبية Computerability ليجيب بدقة عن أسئلة مثل: ما هي الحوسبة؟ هل يمكن إجراء حساب ما؟ وهذا دفعه إلى اختراع ما سماه آلة تيورنغ Turing machine؛ وهي آلة نظرية تستطيع إجراء حسابات لأيّ عدد أو اقتران حسب تعليمات مفروضة.

ولا يزال أثر فون نويمان واضحاً في تصميم الحاسوب. فقد اقترح أن يضمّ هذا

التصميم وحدات متكاملة، هي وحدة الحساب (المُعالج المرْكَزي)، ووحدة الذاكرة، ووحدة التحكم، ووحدات الإدخال والإخراج. ولدمج التعليمات بالمسألة، اقترح استعمال الحساب الثنائي لكليْهما؛ وهكذا كان.

وقد تسارع التقدّم التكنولوجيّ في الحاسوب والحوسبة ليُنتجَ لنا علماً جديداً تشابك مع كثير من المعارف العلمية والإدارية والإنسانية، سُمِّي المعلوماتية Informatics. وصارت البرمجيات Software رائدة في تقدم العَتاد Hardware. وها نحن نعيش عصر الشبكة العالمية (إنترنت) التي تربط بين مئات الآلاف بل الملايين من الحواسيب والبشر في شبكة من المعلومات والتواصل والتفاعل؛ الأمر الذي حوّل العالم إلى قرية إعلامية واحدة.

وسأختم هذا البند بمقتطفات من كتاب بل غيتس Bill Gates، مؤسّس شركة مايكروسوفت Microsoft وصاحبها، وعنوانه *The Road Ahead*؛ وهو مترجم إلى العربية بعنوان «**المعلوماتية بعد الإنترنت: الطريق إلى المستقبل**»:

«إننا نبدأ جميعاً الآن رحلة كبرى، ونحن لا نعرف على وجه اليقين إلى أين تؤدي بنا هذه الرحلة أيضًا. لكنني على يقين مرة أخرى من أن هذه ستؤثر في حياة أعداد من الناس وستأخذنا جميعاً إلى ما هو أبعد...».

«إن الثورة في مجال الاتصالات قد بدأت لتوِّها، وسوف تستغرق تطوراتها عدّة عقود قادمة، وستدفعها إلى الأمام «التطبيقات الجديدة»؛ أي الأدوات الجديدة التي ستلبي حاجات غير متنبأ بها حالياً...».

«وتمثل الأدوات المعلوماتية وسائط رمزية تضخم ذكاء مستخدميها، بدلاً من عضلاتهم. ومن الأهمية بمكان أن تجري مناقشة الجوانب الطيبة والجوانب السيئة لمنجزات التقدم التكنولوجي على أوسع نطاق؛ بحيث يمكن للمجتمع كلّه، وليس لتكنولوجيّيه وحدهم، أن يُوجِّه حركتها».

خاتمة

بدأ القرن العشرون في الرياضيات بخطاب هلبرت في مؤتمر باريس (١٩٠٠)، الذي اختار (٢٣) مسألة غير محلولة، وتنبأ بأنّ حلّها سيوجه رياضيات القرن العشرين. ومع أنّ أكثر هذه المسائل قد حُلّ، إلاّ أن مسيرة الرياضيات في هذا القرن لم تتأثر مباشرة بهذه الحلول. ومع بداية قرن جديد، لا نحتاج إلى أنبياء في الرياضيات يشيرون إلى اتجاهاتها الجديدة؛ بل إلى باحثين عباقرة، وسخاء مالي. فالرياضيات نشاط حياديّ إلى حدّ بعيد خال من العواطف والتحيّزات البشرية، وتعبيرات الفلسفة الذاتية، والذوق الشخصيّ. لذلك سيظل مُوجِّه البحث الرياضي والإبداع ليس من الخارج بقدر ما هو الإلهام المبدع والتحدّي الذهني في داخل عقل الرياضي. والرياضي هو العالم الذي لا يهتم بزبائنه؛ بل لا يهتم بوجودهم. وربما عبارة صموئيل إيلنبرغ تصلح في هذا السياق؛ إذ قال: «أنا خياط مَعاطف، بعضها له كم واحد، وبعضها له كُمّان، وبعضها له أكمام عدة، وبعضها ليس له كم؛ فإن أعجبك معطف فخذه، وإن لم يعجبْك فلا يهمّني». وليست هذه عبارة تكبّر أو عجرفة؛ لكنني أحسبها عبارة ترهّب في محراب الرياضيات لمن نذر نفسه لها وامتلأت نفسه رضا بها وشغفاً. على أننا نقول مع أحد الكبار: «رياضيو المستقبل العظماء . . . سيحلون مسائل عظيمة أورثناهم إيّاها . . . ، وأخرى لم تفلح مخيّلتنا في اكتشافها؛ وسينظرون إليها من منظور جديد. ويؤمن الرياضي بأنّه سيروي ظمأه من منابع المعرفة؛ مقتنعاً بأنّ هذه المنابع ستبقى جارية صافية ثريّة. وإذا سألته لماذا يصر على تسلق المرتفعات الخطرة حيث لا يوجد إلاّ أقرانه، فسيكون جوابه من أجل شرف الروح البشرية».

وأضيف: إنّ المنظر من قمم هذه المرتفعات جميل جداً، سواء فتحت عينيك أو أغمضتهما. هنا يمتزج الحلم بالحقيقة، والعلم بالفن، والإلهام بالعمل الجاد.

ربما علينا أن نغير من مناهج التدريس في المدرسة والجامعة لنحبِّبَ الرياضيات إلى العامة، ولنكتشفَ هذه العبقريات لرعايتها وهي غضة. وعلينا أن لا نبخل بالحوافز والعطاء. فالجائزة شرف ومجد وخلود للعبقري، وتقدّم وتطوّر للعلم والإنسان.

References and Readings مراجع وقراءات

عامة

1. Boyer, Carl, *A History of Mathematics* Second Edition, John Wiley (JW), New York, 1991.

2. Courant , R. Robbins, H, and Stewart, I. *What is Mathematics?* Oxford University Press, 1996.

3. Katz, Victor, *A History of Mathematics*, Second Edition, Addison-Wesley (AW), New York, 1998.

4. Huntley, H. E., *The Divine Proportion*, Dover Publications (DP), 1970.

5. Ghyka, M. C., *The Geometry of Art and Life*, Second Edition, DP, 1998.

أسس الرياضيات

6. Gödel, K. *The Consistency of The Axiom of Choice*, Annals of Mathematical Studies, No.3, Princeton, N.J, 1953.

7. Stoll, R, *Set Theory and Logic*, Freeman, 1963.

8. Suppes, P., *Axiomatic Set Theory*, Van Nostrand, Princeton, N.J, 1972 .

9. Wilder, R., *Inrtoduction to the Foundations of Mathematics*, JW, N.Y., 1965.

الطبولوجيا

10. Hatcher, A., *Algebraic Topology*, First Edition, Cambridge University Press (CUP), 2001.

11. Milnor, J.W., *Topology from the Differentiable Viewpoint*, Revised Edition, Princeton University Press (PUP), 1997.

12. Munkres, J., *Toplogy*, Second Edition, Prentice-Hall (P-H). 1999.

الإحصاء والاحتمالات

13. Billingsley, P., *Probability And Measure*, Third Edition, Wiley-Interscience (WI), 1995.

14. Feller, *An Introduction to Porbability Theory And Its Applications*, Vos. 1-3, JW, 1968-1971.

15. Hair, J., Jr., *et al.*, *Multivariate Data Analysis with Readings*, Fourth Edition, P-H, 1995.

16. Hogg, R., and Craig, A., *Introduction to Mathematical Statistics*, Fifth Edition, P-H, 1994.

17. Mittlehammer, R., *Mathematical Statistics for Economists And Business*, Springer-Verlag, 1994.

18. Samuel, K., *A First Course in Stochastic Processes*, Second Edition, Academic Press, 1975.

19. Wright, R.L.D., *Understanding Statistics*, Harcourt, Brace and Jovanovich, N.Y., 1976.

الجبر

20. Akivis, M.A., *An Introduction to Linear Algebra And Tensors*, DP, 1977.

21. Isascs, I.M., *Algebra: A First Course*, Brookes Cole, 1988.

22. Durbin, J.R., *Modern Algebra: A Graduate Course*, Third Edition, JW, 1992.

23. Fraleigh, J., *A First Course in Abstract Algebra*, Fifth Edition, AW, 1994.

24. Freidberg, S.H., *et al.*, *Linear Algebra*, Third Edition, P-H, 1996.

25. Strang, G., *Linear Algebra And Its Applications*, Third Edition, Brookes Cole, 1998.

الهندسة

26. Connes, A., *Noncommutative Geometry*, Academic Press, 1994.

27. Kreyszig, E., *Differential Geometry*, DP, 1991.

28. Millman, R.S., and Parker, G.D., *Elements of Differential Geometry*, P-H, 1977.

29. Wylie, C.R, Jr., *Foundations of Geometry*, McGraw-Hill, 1964.

المعادلات التفاضلية

30.Coddington, E.A., *An Introduction to Ordinary Differential Equations*, DP, 1989.

31. Hurewitcz, W., *Lectures on Ordinary Differential Equations*, DP, 1990.

32. Strass, W., *Partial Differential Equations: An Introduction*, WI, 1992.

33. Thoe, D.W., *An Introduction to Ordinary Differential Equations*, DP, 1989.

التحليل العددي

34. Atkinson, K.D., and Han, W., *Elementary Numerical Analysis*, Third Edition, WI, 2003.

35. Burden, R.L. and Faires, J.D., *Numerical Analysis*, Brookes Cole, 2000.

نظرية الألعاب

36. Davis, M.D., *Game Theory: A Nontechnical Introduction*, DP. 1997.

37. Kuhn, H.W., *Classics in Game Theory*, PUP, 1999.

38. Osborne, M.J., *A Course in Game Theory*, MIT Press, 1994.

الحسبان والتحليل

39. Apostol, T.M., *Mathematical Analysis*, Second Edition, AW, 1974.

40. Boyer, C.B., *History of the Calculus And Its Conceptual Developments*, DP, 1954.

41. Edwards, R.E., *Functional Analysis: Theory And Applications*, DP. 1995.

42. Freidman, A., *Foundations of Modern Analysis*, DP, 1982.

43. Robinson, A., *Non-Standard Analysis*, Revised Edition, PUP, 1996.

44. Rudin, W., *Real And Complex Analysis*. Third Edition, McGraw-Hill, 1986.

45.Weyl, H. *et al.*, *The Continuum: A Critical Examination* of *The Foundations of Analysis*, DP, 1994.

نظرية الرسوم

46. Diestel, R., *Graph Theory*, Second Edition, Springer-Verlag, 2000.

47. Dolan, A., and Aldous, J., *Networks And Algorithms*, JW, 1994.

48. Saaty, T.L., and Kainen, R.C., *The Four-Color Problem*, DP, 1986.

49. Trudeau, R.J., *Introduction to Graph Theory*, DP, 1994.

نظرية العدد

50. Cohn, H., *Advanced Number Theory*, DP, 1980.

51. Hardyt, G., and Writh, E.M., *An Introduction to the Theory of Numbers*, Fifth Edition, Oxford Press, 1980.

52. Koblitz, N.J., *A Course in Number Theory And Cryptography*, Second Edition, Springer-Verlag, 1994.

تدريس الرياضيات

٥٣. أبو زينة، فريد: *أساليب تدريس الرياضيات*، مكتبة الفلاح، الكويت، ٢٠٠٣.

٥٤. بوليا، ج: *البحث عن الحل*؛ ترجمة أحمد سعيدان، دار الحياة، بيروت، ١٩٦٠.

البرمجة الخطيّة

55. Cook, W.J. *et al.*, *Combinational Optimum*, WI, 1999.

56. Luenberger, D.C., *Linear And Nonlinear Programming*, AW, 1984.

57. Luenberger, D.C., *Introduction to Dynamic Systems*, First Edition, WI, 1979.

58. Neuhauser, G.L., *Integral And Combinatorial Optimization*, WI, 1988.

59. Rardin, R.L. *Opitimization in Operational Research*, P-H, 1997.

60. Sherali, H.D., *Nonlinear Programming: Theory And Applications*, WI, 1992.

الكسورات

61. Lesmeir-Gordon, Nigel *et al.*, *Introduction to Fractal Geometry*, Totem Books, 2000.

62. Mandelbrot, B., *Fractal Geometry of Nature*, Freeman, 1982.

الأمثلية

63. Fletcher, R., and Fletcher, R. *Practical Methods of Optimization*, Second Edition, JW, 2000.
64. Nocedal, J., and Wright, S.J., *Numerical Optimization*, Springer-Verlag, 1989.
65. Sudaram, R.J., *A First Course in Optimal Theory*, CUP, 1996.

علوم الحاسوب

66. Brassard, G. et al., *Fundamentals of Algorithms*, First Edition, P-H, 1995.
67. Church, A., *Introduction to Mathematical Logic*, PUP, 1996.
68. Graff, M.G., *Secure Coding: Principles And Practices*, O'Reily, 2003.
69. Hernadez, M.J., *Database Design for Mere Mortals*, Second Edition, AW, 2003.
70. Jackson, P.C., *Introduction to Artificial Intelligence*, Second Edition, P-H, 1985.
71. Martin, J., *Computer Data-Base Organization*, P-H, 1997.
72. Russel, S.J., *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, P-H, 2002.
73. Trappe, W., and Washington, L.C., *Introduction to Cryptography with Coding Theory*, P-H, 2002.
74. Weiner, N., *Human Use of Human Being: Cybernetics and Society*, Avon Books, 1986.

الفصل الثاني

العلوم الفيزيائيّة

أ. د. محمّد باسل الطّائي



العلوم الفيزيائية

الأستاذ الدكتور محمّد باسل الطائي

شهد القرن العشرون تطوراً هائلاً في العلوم الفيزيائية بشكل متسارع. فقد شهدت بداية القرن تحوّلات كبيرةً على الصعيد النظري المفاهيمي؛ حيث وُضعت نظرية النسبية الخاصة التي جاءت بمفاهيم جديدة وقوانين جديدة لفهم الحركة، وغيّرت من قوانين نيوتن، وكشفت عن عَلاقات جديدة بين الزمان والمكان والكميات الفيزيائية، التي صارت تأخذ معناها الصحيح في فضاء رباعي الأبعاد. كما جاءت نظرية الكم بمفاهيم جديدة وقوانين جديدة، وحتى صيغ جديدة، للتعامل مع المادة والطاقة على المستوى المجْهريّ Microscopic. ثم جاءت نظرية النسبية العامة لتقدّم مفهومًا جديداً لقوى الجاذبية، التي تحكم الكون بأسره. فأصبح التوزيع المادي ممثّلاً بتحدُّبات موضعية للزمكان. لقد نقلت هذه النظريات المعرفة النظرية والتقنيّات التي نستخدمها إلى مستويات جديدة غير مسبوقة.

في نهاية القرن التاسع عشر، بدا كما لو أن نظرية الفيزياء قد

اكتملت؛ إذ أصبح بالإمكان تفسير أغلب الظواهر الطبيعية بالاعتماد على ثلاثة أعمدة رئيسية، شكّلت ما يسمى اليوم الفيزياء التقليدية أو الكلاسيكية Classical Physics. وهذه هي:

١. قوانين نيوتن في الحركة، وقانونه في الجاذبية العامة.

٢. نظرية ماكسويل التي وحّدت المجالين الكهربائي والمغناطيسي في إطار نظري واحد سمي النظرية الكهْرَمغناطيسية Electromagnetic Theory.

٣. النظرية الحركية للغازات، وقوانين الديناميكا الحرارية (أو التحريك الحراريّ)، المسندة بقوانين الميكانيكا الإحصائيّة Statistical Mechanics لبولتزمان Boltzmann وغِبْز Gibbs، التي أمكن من خلالها تفسير كثير من الظواهر الحرارية الجاهريّة Macroscopic والمجهرية.

لكن نظرية الفيزياء لم تكن قد اكتملت بعد فعلاً؛ إذ بقيت هنا وهناك بعض المسائل النظرية والتجريبية التي كان الفيزيائيون يحاولون جاهدين لمعالجتها وتفسيرها. ومن أهم هذه المسائل:

١. مشكلة الأثير The ether problem.

٢. مشكلة انبعاث الطاقة الحرارية وامتصاصها.

٣. ظاهرة التأثير الكهْرَضوئي Photoelectic effect.

٤. مفارقة (أو نقيضة) أولبرز Olbers' paradox.

٥. الأطياف الذرية.

شكّلت هذه المسائل جزءاً مهمّا من أزمة الفيزياء النظرية، في أواخر القرن التاسع عشر. فعمل كثير من الفيزيائيين جاهدين في سبيل إيجاد الحلول النظرية، ضمن إطار نظريات الفيزياء الكلاسيكية؛ لكن أيًا من تلك الحلول المقترحة لم يكن قادراً على تقديم الصورة الكاملة.

في هذه الدراسة، سنقدم عرضًا لهذه المسائل. وستتبين كيف أفضت المعالجات

الصحيحة إلى ظهور حلول جديدة، شكّلت ما يُعرف اليوم بالفيزياء الحديثة Modern Physics.

مشكلة الأثير The Ether Problem

قدّمت نظرية ماكسويل في الكهرَمغناطيسية تصوراً موجيًا للإشعاعات المتولدة عن حركة الجسيمات المشحونة. وهذا التصوّر يقوم على تولد مجال Field يتألف من عنصرين كهربائي ومغناطيسي، متعامد الواحد مع الآخر. وكل منهما في حالة تغيّر مستمر؛ وتغيّر أحدهما يولّد الآخر. وفي الوقت نفسه، يندفع (ينتشر) هذا التغيّر عبر الفضاء بشكل موجي. والموجة هي اضطراب في الوسط. فحين نلقي حجراً في بركة ماء ساكن، نجد أن ارتطام الحجر بسطح الماء يولّد أمواجًا دائرية تنبثق وتنتشر؛ مبتعدة على شكل حلقات متمركزة حول موقع الارتطام. وما يحصل في الواقع أن الضغط الذي يولده ارتطام الحجر بسطح الماء يؤدي إلى تذبذبه، نزولاً وصعوداً؛ ثم ينتقل هذا التذبذب (بحكم ارتباط جزيئات الماء بعضها ببعض) أفقيّـًا، في الوقت الذي يتضاءل فيه اتّساع الموجات كلما ابتعدت عن المركز. وهذا ما يحصل عند انتقال الصوت عبر الهواء أو أي وسط آخر. فها هنا يولد المصدر ضغطًا ابتدائيّـًا في الوسط، لا يلبث أن ينتقل عبر الوسط؛ بعيداً عن المصدر في جميع الاتجاهات.

من هنا تصور الفيزيائيون ضرورة وجود وسط ناقل للضوء الذي يصل إلينا من النجوم البعيدة. فهذا الضوء، بحسب نظرية ماكسويل، هو موجات كهرَمغناطيسية تتحرك بسرعة هائلة، مقدارها ٣٠٠٠٠٠ كيلومتر في الثانية.

لكن ما هو هذا الوسط العجيب الذي يملأ الفضاء الكوني الهائل؟ وما هي صفاته؟ وهل يمكننا قياس حركة الأرض نسبة إليه؛ أو تلمُّس حركته بالنسبة للأرض؟

ابتداءً، عرف الفيزيائيون أن هذا الوسط الافتراضي لا بد أن يكون خفيفًا جدًا؛ أي ذا كثافة منخفضة جداً. ذلك لأن مربع سرعة الموجة يتناسب عكسيّـًا مع كثافة الوسط. فضلاً عن ذلك، فإن معامل مرونة الوسط لا بد أن يكون عاليًا، كي تتحققَ

سرعة الموجة الكهرَمغناطيسية الهائلة فيه . سُمّي هذا الوسط الغريب الأثير Ether؛ وعَدّه الفيزيائيون ضروريًا لانتشار الموجات الكهرَمغناطيسية، بما فيها الضوء .

تجربة ميكلصن ومورلي The Michelson-Morley Experiment

وسواء كان هذا الوسط متحركًا بذاته أو ساكنًا، فلا بد أن للأرض سرعة نسبية معه . لذلك، أجرى ألبرت ميكلصن وروبرت مورلي عام ١٨٨٢ تجربة، كان الغرض منها قياس سرعة حركة الأرض بالنسبة للأثير . اعتمدت التجربة على مبدأ تداخل الموجات Wave interference ؛ إذ كان من المعروف أن تراكب موجتين متماسكتين Coherent (لهما الطول الموجي نفسه) يؤدي إلى إعدام إحداهما الأخرى، أو تعضيد إحداهما للأخرى . الأول يسمّى التداخل الهدّام Destructive interference؛ أما الثاني فيسمّى التداخل البنّاء Constructive interference . وهذا يَعني أننا لو قسّمنا حزمة ضوئية إلى حزمتين ثم جمعنا هاتين الحزمتين، فإن تشكيلاً من النقاط المضيئة والمظلمة سيظهر عند الملتقى؛ مؤلفًا ما يسمى أهداب التداخل Interference fringes . وفي تجربة ميكلصن ومورلي، كان من المفروض ظهور هذه الأهداب كحلقات مظلمة متمركزة، يعتمد شكلها وقياسها على فرق الطور Phase difference، الذي سيتولد عن الحركة النسبية بين الأرض والأثير .

أجريت التجربة؛ ولم يعثر ميكلصن ومورلي على أية أهداب تداخل! وجهت بعض الانتقادات إلى التجربة؛ الأمر الذي ساهم في تحسينها وإعادتها مرات ومرات . لكن النتيجة جاءت هي نفسها : لا أهداب تداخل؛ وكأن ليس للأرض حركة نسبية مع الأثير . قدمت تفسيرات عدة لهذه النتيجة السلبية للتجربة؛ لكن أيًا منها لم يكن مقنعًا تمامًا .

نظرية النسبية الخاصة Special Theory of Relativity

لم يتوصل الفيزيائيون إلى الحل الشامل لمشكلة الأثير وما تمخض عنها؛ ولم يتمكنوا من الحصول على التصور المتكامل، حتى جاء ألبرت آينشتاين بنظرية النسبية الخاصة

عام ١٩٠٥، في بحث نشره في المجلة العلمية الألمانية *Annalen der Physik*. ففي هذا البحث الشهير، أسّس آينشتاين لنظرية تتعامل مع الكميات الفيزيائية في إطارها المكاني والزماني معًا؛ إذ إن الفيزياء الكلاسيكية تعاملت مع قوانين الفيزياء والكميات التي تتضمنها باعتبار أن الزمان منفصل عن المكان. ومع أن نظرية ماكسويل الكهرمَغناطيسية أشارت ضمنًا إلى تداخل الزمان مع المكان، إلا أن المفهوم الذي كان سائدًا عند الفيزيائيين هو فصل الزمان عن المكان.

وجّه آينشتاين انتباهه نحو الزمان والمكان. فهذان العاملان هما الأكثر أساسية في فهم ديناميّة التغيرات والسيرورة الحركية. ولكي تكون معالجاتنا الفيزيائية النظرية للنظم المتغيّرة في إطار مرجعي ذات عمومية وشمول، فلا بد من الربط بين الأطر المرجعية المختلفة بعضها مع بعضها الآخر. هذا الربط يتحقّق بواسطة ما يعرف بقوانين التحويلات Transformations. وكانت الفيزياء الكلاسيكيّة قد أخذت بتحويلات غاليليو Galilean transformations، التي تقرر أن الزمان والمكان منفصلان؛ لا اعتماد لأحدهما على الآخر. وتعتمد قوانين نيوتن في الحركة على هذه التحويلات للربط ما بين المراقبين القصوريّين Intertial observers (أي المراقبين المتحرّكين بسرع ثابتة نسبة إلى بعضهم بعضًا). لكن ڤويْغت Voigt أثبت أن معادلات ماكسويل في الكهرمَغناطيسية لا تمتثل لتحويلات غاليليو؛ بل لتحويلات أخرى سميت فيما بعد تحويلات لورنتز Lorentz transformations. وهذه الأخيرة تتضمن تواصل الزمان والمكان معًا في كينونة واحدة. لكنْ في العصر الحديث، قبل ألبرت آينشتاين، لم يقل أحد بمفهوم تداخل الزمان والمكان؛ ولم يعمل على كشف عواقبه ومضامينه.

وجد آينشتاين أن معضلة الفيزياء الكلاسيكية في فهم حركيات الأجسام، وحل مشكلة الأثير، يقتضي القول بتداخل الزمان والمكان معًا في كينونة واحدة؛ هي ما سماه «المتصل الزمكاني Spacetime continuum». لهذا السبب، أسهب آينشتاين في بحثه السابق ذكره في مناقشة مسألة التزامن Simultaneity بين الحوادث الفيزيائية، كما يشاهدها راصدون مختلفون لهم أوضاع حركية مختلفة؛ واستنتج أن التزامن هو قضية نسبية تعتمد على الحالة الحركية للراصد. كانت هذه هي الالتفاتة العظيمة لألبرت آينشتاين؛ وبها استطاع أن يسبر عالمًا جديدًا وفهمًا مبدعًا لتحولات المادة والطاقة.

وجد آينشتاين أن من الضروري القول بمبدأين أساسيين، هما:

١. إن قوانين الفيزياء يجب أن تُصاغ؛ بحيث يكون كل منها ذا صيغة عامة واحدة في جميع الأطر المرجعية المتحركة بسرع ثابتة (الأطر القصورية Inertial frames). وقد سُمّي هذا مبدأ النسبية الخاصة.

٢. إن سرعة الضوء في الفراغ هي ثابت كوني، لا يعتمد على الحالة الحركية للمراقب.

ولكي يتحقق المبدأ الأول، لا بد من تداخل الزمان والمكان الذي تفرضه تحويلات لورنتز، التي وجدها آينشتاين هي الأصلح للتعبير عن علاقات الأطر المرجعية القصورية بعضها مع بعضها الآخر. فلا بد من التعامل مع الكميات الفيزيائية المتجهة (أي التي لها مقدار واتجاه كالسرعة والزّخْم والقوة) على أنها مؤلفة من أربع مركّبات: ثلاث مكانية، هي التي كان متعارفًا عليها في معالجات الفيزياء الكلاسيكية؛ والرابعة مركبة زمانية. وبذلك، أصبح الفضاء الفيزيائي فضاءً رباعيًا: ثلاثة من أبعاده مكانية، والرابع زماني. هذا البعد الرابع أعطى تأويلاً جديدًا للكميات الفيزيائية. على سبيل المثال، نجد أن الطاقة الكلية للجسم ليست إلا المركبة الرابعة للزخْم.

أما المبدأ الثاني الذي اعتمده آينشتاين، فقد قدّم حلاً بديهيًا لمعضلة تجربة ميكلصن ومورلي؛ إذ إن ثبات سرعة الضوء يعني أن نتيجة التجربة متوقعة.

وأما بخصوص ضرورة وجود الأثير كوسط ناقل للموجة الكهرَمغناطيسية، فقد استدرك الفيزيائيون لاحقًا أن مثل هذا الوسط غير ضروري أساسًا؛ لأن الموجة الكهرَمغناطيسية هي بذاتها وسط، ولا تحتاج إلى وسط ناقل.

تطبيقات نظرية النسبية الخاصة

ذكرنا أن النسبية الخاصة عالجت العَلاقات الحركية بين الأطر المرجعية القصورية؛ أي تلك التي لا تخضع لأية قوة خارجية. لذلك، فإن نظرية النسبية قدّمت الصيغ البديلة لقوانين نيوتن في الحركة التي تعالج الحركات القصورية؛ فضلاً عن ما قدّمته من مفاهيمَ جديدة عن الزمان والمكان.

وقد كان من المضامين الخطيرة التي كشفها آينشتاين أن كتلة الجسم تكافئ قدرًا هائلاً من الطاقة، تضبطه العلاقة:

الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

كانت هذه العلاقة الخطيرة التي غيرت توازن القوى الاستراتيجي في العالم واحدةً من المضامين التي كشفت عنها النسبية الخاصة، حين اعتمدت فكرة تداخل الزمان والمكان. ولعلّ هذه المعادلة هي الأكثر شهرة من بين معادلات نظرية النسبية الخاصة كافة.

كذلك، كشف آينشتاين أن تحويلات لورنتز تفضي إلى أن الزمان والمكان معًا هما نسبيان؛ يعتمدان على الحالة الحركية للمراقب. فلو أن شخصًا كان جالسًا في غرفة يراقب حادثة تكرارية ذات معدل زمني ثابت، فإن شخصًا آخر يركب قاطرة يمر قرب شباك الغرفة لن يجد المعدل الزمني الثابت نفسه؛ بل سيجده أطول مما يخبره به المراقب الساكن. تسمى هذه الظاهرة تباطؤ الزمن Time dilation. وقد أثارت هذه الظاهرة مفارقة التوأمين Twin paradox. وفيها قيل إذا كان تباطؤ الزمن صحيحًا، فإن توأمين يفترقان عن بعضهما بعضًا، أحدهما يبقى على الأرض فيما يسافر الآخر على متن مركبة فضائية تسير بسرعة عالية جدًا، سيجدان نفسيهما قد اختلفا كثيرًا في العمر حين يلتقيان مرة ثانية بعد انتهاء جولة التوأم الثاني. وسبب الاختلاف المتصور في العمر هو أن التوأم الثاني قد خضع إلى حركة بسرعة عالية جعلت زمانه يتباطأ مقارنة بالتوأم الذي بقي على الأرض. لكن هذه المفارقة غير واردة من أصلها لأن الحركة نفسها نسبية. ففي الوقت الذي يرى فيه التوأم الأول أخاه يركب الفضاء متحركًا بسرعة عالية، فإن التوأم الثاني يرى أخاه الذي على الأرض متحركًا (بالأرض وما عليها) بسرعة عالية أيضًا. لذلك، فلا صحة للقول بوجود مفارقة التوأمين في نظرية النسبية الخاصة*. أما إذا تحدثنا عن تأثيرات تغيرات السرعة بالتباطؤ أو التسارع (بما في ذلك تغيير اتجاه الحركة)، بحسب ما تقرره نظرية النسبية العامة، فهذا شيء آخر.

* معظم الفيزيائيين يرى أنّ هذه المفارقة «حقيقية». وتفسيرها يكمن في عدم تماثل وضع التوأمين؛ إذ إنّ التوأم المسافر لا بد أنْ يغيّر إطاره المرجعيّ حين يغيّر اتجاهه للعودة إلى الأرض. **(المحرّر)**

كما أكّدت نظرية النسبية الخاصة علاقة انكماش الأطوال Length contraction، التي كان فيتزجرالد قد أثبتها من قبل اعتماداً على تحويلات لورنتز. وبموجب هذه العلاقة، يرى الراصد المتحرك بسرعة عالية الأشياء الساكنة وقد انكمش طولها الذي في اتجاه حركته. وهكذا، فإن أشكال الأجسام تتغيّر بحسب الحالة الحركية للراصد. فما نراه أمامنا مربعًا قد يراه راصد آخر (متحرك بسرعة ثابتة نسبة إلينا) مستطيلاً.

كذلك، كان من نتائج نظرية النسبية الخاصة أن السرعة النسبية بين أي إطارين مرجعيّيْن تخضع لعلاقة جديدة تختلف عن العلاقة النيوتُنيّة (أو الغاليليّة). فلو افترضنا أن عربة تسير على طريق بسرعة ٦٠ كيلومتراً في الساعة واجهت عربة أخرى تسير بعكس الاتجاه بسرعة ٩٠ كيلومتراً في الساعة، فإن السرعة النسبية بينهما تكون ١٥٠ كيلومتراً في الساعة؛ أي أن راكبي العربتين يرى كل منهما الآخر بسرعة ١٥٠ كيلومتراً في الساعة نسبة إليه. وبحسب هذا القانون، المسمّى قانون جمع السرع Velocity addition، لو أن سرعة إحدى العربتين كانت ٨, ٠ من سرعة الضوء وسرعة الأخرى ٥, ٠ من سرعة الضوء، فإن السرعة النسبية بينهما حسب العَلاقة الكلاسيكيّة تكون ٣, ١ من سرعة الضوء. لكن، من القانون الجديد، تكون السرعة النسبية بين الإطارين المرجعيين المتحركين ٩٢٨, ٠ من سرعة الضوء.

كما كان من نتائج نظرية النسبية الخاصة أن كتلة الجسم تعتمد على السرعة؛ فتزداد كلما ازدادت سرعة الجسم. وسبب ذلك أن النسبية الخاصة وحّدت بين الطاقة والكتلة. فالطاقة الحركية التي يمتلكها الجسم تظهر على شكل زيادة في الكتلة. هذه الزيادة في الكتلة تؤدي إلى زيادة القوة اللازمة لتسريع الجسم إلى القدر المطلوب؛ ما يتطلب أن تكون القوة الدافعة للجسم لانهائية كي يصل إلى سرعة الضوء. لذلك، يقال إن جميع الأجسام التي لها كُتل لا يمكن أن تبلغ سرعة الضوء تمامًا، أبدًا.

لا بد أن نؤكد في هذا العرض الموجز لنظرية النسبية الخاصة أن هذه النظرية قدمت تصوراً جديداً لمفهوم الزمان والمكان والطاقة والمادة. وفي الوقت نفسه، فإن حساباتها أكثر دقة من الحسابات التي توفرها لنا قوانين نيوتن في الحركة. إلا أن أهمية هذه النظرية من الناحية الحسابية تظهر في حالات السرعة العالية جداً. ففي عالم الحياة

اليومية الذي نتعامل به مع سرعة سيارة أو طائرة أو حتى صاروخ، تكون السرع بطيئة مقارنة بسرعة الضوء؛ ما يجعل نتائج حسابات النسبية الخاصة قريبة جدًا من حسابات ميكانيكا نيوتن. لكن، في عالم الجسيمات الذرية المتحركة بسرع عالية جدًا، تصبح قوانين نظرية النسبية الخاصة ضرورية.

نظرية النسبية العامة Theory of General Relativity

عالجت نظرية النسبية الخاصة المنظومات المتحركة بسرع ثابتة؛ أي بغياب أية قوة خارجية تؤثر في الحركة. وكان من الضروري بعد ذلك التفكير بتأثير الجاذبية في الحركة. فالجاذبية تغمر الكون كله وتمسك بجميع أطرافه.

وجد أن نظرية النسبية الخاصة لا تتوافق مع قانون نيوتن في الجاذبية العامة للأسباب الآتية:

١. إن النسبية الخاصة تتعامل مع الأطر المرجعية ذات السُرع الثابتة؛ في حين تكون الأطر المتحركة حركة حرة في مجال جاذبي متسارعة.

٢. إن قانون نيوتن في الجذب العام يخضع لتحويلات غاليليو، ولا يخضع لتحويلات لورنتز التي يفترض أن تكون الأكثر عمومية.

٣. إن نظرية نيوتن في الجاذبية تقوم على مبدأ «الفعل عن بُعْد Action at a distance». وهذا يفترض أن الفعل الجاذبي ينتقل بسرعة لانهائية؛ فيما تحدد نظرية النسبية الخاصة سرعة انتقال التأثيرات، أيًّا كانت، بسرعة الضوء.

لذلك، كان من الضروري تعميم نظرية النسبية الخاصة لتشمل الحركة في المجال الجاذبي أيضًا.

لفت نظر آينشتاين أن الحركة المتسارعة لأي إطار مرجعي تؤدي حالاً إلى ظهور قوة تؤثر في الكتل داخل ذلك الإطار المرجعي، ويكون اتجاهها معاكسًا لاتجاه التسارع. وهذه الملاحظة نخبرها يوميًا. فحين نركب السيارة وتنطلق بنا على الطريق متسارعة،

نشعر بقوة تدفعنا إلى الخلف؛ ويتزايد اندفاعنا إلى الخلف كلما كان تسارع السيارة أكبر.

كما لاحظ آينشتاين أن الأجسام التي في الأطر المرجعية الساقطة سقوطًا حرًا نحو الأرض تفقد وزنها تمامًا، وتتصرّف الأشياء في داخل الأطر المرجعية الساقطة سقوطًا حرًا كما لو كانت في فضاء خال من الجاذبية. فلو ركبنا مصعدًا وتركناه يسقط سقوطًا حرًا، لوجدنا أنفسنا والأشياء من حولنا تتصرّف وكأنها في فضاء خالٍ من الجاذبية؛ أي أنها تغدو عديمة الوزن.

مبدأ التكافؤ Principle of Equivalence

هذه الملاحظة دعت آينشتاين إلى القول بتكافؤ المجال الجاذبيّ موضعيًا Locally مع التسارع. وأفضى ذلك إلى وضعه ما سُمّي مبدأ التكافؤ، الذي يقرر أن المجال الجاذبيّ يتكافأ موضعيًا مع التسارع.

دفعت هذه الفكرة آينشتاين إلى التفكير جديًا بإعادة صياغة قانون الحركة في المجال الجاذبي على أساس هندسي Geometrical. فما دام التسارع هو كمية تعتمد على تغيّر المكان مرتين بالنسبة إلى الزمان، وما دام المجال الجاذبي يكافئ التسارع (موضعيًا على الأقل)، فإن من الممكن صياغة قوانين الجاذبية بدلالة الزمان والمكان. لكن، إذا كانت الحركة في الأطر القصورية تتطلب أن تكون قوانين الفيزياء لاتغيرية تحت تأثير تحويلات لورنتز، فهل تخضع قوانين الحركة في الأطر اللاقصورية لهذه التحويلات نفسها؟ أدرك آينشتاين أن الإجابة هي بالنفي قطعًا، لأن تحويلات لورنتز قائمة أساسًا على افتراض الحركة بسرعة ثابتة للأطر المرجعية؛ في حين أن الحركة الحرة في المجال الجاذبي متسارعة. وهذا ما دعى آينشتاين إلى القول بمبدأ آخر.

مبدأ النسبية العام Principle of Covariance

لغرض تأمين حفْظ قوانين الفيزياء في كل مكان وزمان، اقترح آينشتاين أن تكون

هذه القوانين لاتغيرية تحت التحويلات العامة للإحداثيات. وقد سُمّي هذا «مبدأ النسبية العام».

متأثراً بالنظرية الكهْرَمغناطيسية لماكسويل، حاول آينشتاين وضع تصور مجالي زمكاني للجاذبية. ونظراً لأن قوة الجاذبية تتصرّف دائمًا باتجاه واحد، أي باتجاه الجذب، وليس كالقوة الكهربائية أو المغناطيسية التي تتصرف بالاتجاهين: السحب والدفع، فإن للمجال الجاذبي صفات تختلف عن المجالين الكهربائي والمغناطيسي. أدرك آينشتاين هذه الحقيقة. ولربما لهذا السبب، نجد أن القوة الكهْرَمغناطيسية هي قوة لاتغيرية تحت تأثير تحويلات لورنتز؛ فيما نجد أن لاتغيرية قوة الجاذبية تحتاج إلى تحويلات أكثر عمومية.

بقي آينشتاين مدة تزيد على عشرة أعوام، ما بين ١٩٠٥ ـ ١٩١٥، يتأمل في إيجاد الصياغة المناسبة والإطار الرياضي الذي يمكن أن يعمل فيه لغرض صياغة القوة الجاذبية برموز الزمكان. ويبدو أنه اهتدى، بمعونة آخرين، إلى أن الهندسة اللاأقليديّة توفر إمكانية مناسبة لمعالجة التغيّرات اللاخطية المماثلة لتغيرات الجاذبية. وقد وجد ضالته في هندسة ريمان Riemannian geometry؛ فعمد إلى دراستها. واعتماداً عليها، تمكن من التوصل إلى الصياغة الزمكانية للمجال الجاذبي بمفردات هندسية الزمكان.

وبدلاً من المتّجهات الرباعية التي كانت ضرورية للتعبير عن الكميات الفيزيائية في نظرية النسبية الخَاصة، برزت الحاجة إلى صياغة الكميات الفيزيائية بدلالة مفردات جديدة تسمى الممتدات Tensors. والممتدات بصورة عامة هي مضروبات المتجهات. فإذا كان للمتجهات الرباعية أربع أرجل (مركّبات) تُعرّف بموجبها، فإن الممتدات تحتاج إلى أرجل كثيرة كي تعرّف بصورة مضبوطة.

الهندسة اللاأقليدية Non-Euclidean Geometry

من خلال خبرتنا اليومية، كلنا نألف الهندسة الأُقليدية Euclidean geometry، التي وضع أسسها النظرية أقليدس Euclid. فنحن معتادون على رسم المربع بأربعة

أضلاع، وأربع زوايا قائمة. ومعتادون على رسم المثلثات بثلاثة أضلاع، وثلاث زوايا مجموعها ١٨٠ درجة. وعرفنا من خلال دراستنا لمبادئ الهندسة أن النسبة بين محيط أي دائرة وقطرها هي كمية ثابتة (تسمّى النسبة الثابتة) ويرمز لها بـ π ومقدارها ٣,١٤٢٨. وهكذا . . . . هذه كلها مفاهيم ونتائج جاءت من معالجتنا للخطوط والزوايا على سطوح مستوية تمامًا Plane surfaces. أما لو حاولنا التفكير برسم مثلث على سطح كرة مثلاً، فإننا لا يمكن أن نرسمه بزوايا مجموعها ١٨٠ درجة؛ بل أكثر بالضرورة. كذلك، لو رسمنا دائرة على سطح كرة مثلاً، فإن نسبة محيطها إلى قطرها لن تكون النسبة الثابتة π؛ بل أقل منها بالتأكيد. (لاحظ هنا أننا حين نرسم الدائرة على سطح الكرة، فإننا نلتزم بالتعريف العام للدائرة بأنها المحل الهندسي لجميع النقاط المتساوية البعد عن المركز. لذلك، فإن نصف قطر هذه الدائرة هو خط منحن بين مركزها ونقطة على محيطها. ونظرًا لأن الخط المنحني بالضرورة أطول من الخط المستقيم، فإن النسبة بين طول المحيط والقطر ستكون أقل من π.)

إذًا، فالتعامل مع السطوح المحدبة يقتضي بالضرورة ابتداع هندسات جديدة لا يكون مجموع زوايا المثلث فيها ١٨٠ درجة، ولا تكون فيها نسبة محيط الدائرة إلى قطرها النسبة الثابتة المعروفة. هذه الهندسات تسمى هندسات لا أقليدية.

واحدة من هذه الهندسات هي هندسة ريمان Riemann، التي تُعنى بالفضاءات المحدبة بأي عدد من الأبعاد. وقد وجد آينشتاين أن هذه الهندسة هي الأفضل لوصف المجال الجاذبي بمفردات متغيرات الزمكان.

في الهندسة الأقليدية ذات البعدين (x و y) ، اعتدنا على القول إن مربع طول الوتر Δs في المثلث القائم الزاوية يساوي مجموع مربعي الضلعين الآخرين:

$$(\Delta s)^2 = (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 .$$

تسمى هذه مبرهنة فيثاغورس. وهي في الأصل مبرهنة هندسية بابلية. ويمكن تعميم هذه المبرهنة من بعدين إلى n من الأبعاد كما يأتي:

$$(\Delta s)^2 = (\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2 + (\Delta x_3)^2 + (\Delta x_4)^2 + (\Delta x_5)^2 + \cdots ,$$

لكننا لو أردنا تعميم هذه المبرهنة إلى الفضاءات المحدبة، فإن مربع وتر المثلث المرسوم على سطوح محدبة لن يساوي مجموع مربعات الأضلاع الأخرى؛ بل ستكون هنالك معاملات أخرى إلى جانب مربعات الأضلاع.

كذلك، لو أقمنا عموداً على سطح مستوٍ وحركناه على محيط مربع مرسوم على ذلك السطح، فإنه سيعود إلى نقطة البداية وهو بالاتجاه نفسه الذي بدأ منه. لكننا لو رسمنا مربعًا على سطح كرة مثلاً، وحركناه بحيث يكون موازيًا لنفسه، أي قائمًا على الخط الذي يتحرك عليه دومًا، فإنه سيعود هو الآخر إلى نقطة البداية؛ لكن عندها سيكون اتجاهه مختلفًا عن الاتجاه الذي بدأ به.

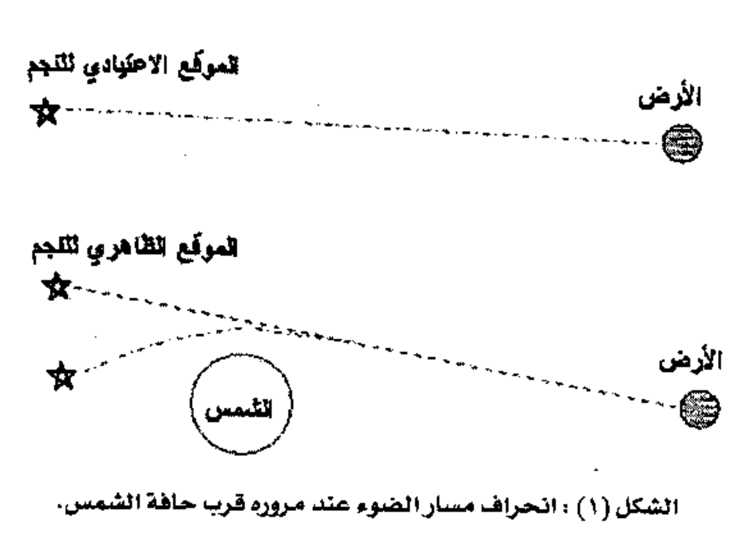
هذا يَعني بالضرورة أن الإزاحة في الفضاء المحدّب ليست هي الإزاحة نفسها التي نعرفها في الفضاء المسطح؛ بل تختلف عنها. ولما كانت الإزاحة هي تفاضلات بالنسبة للمكان، والإزاحة الزمانية تفاضلات بالنسبة للزمان، فإن صيغة التفاضل في الهندسة المحدبة (اللاأقليدية) تختلف عن تلك التي في الهندسة المستوية (الأقليدية). وبموجب هذا الاختلاف، يمكن إيجاد مقدار تحدّب السطوح والفضاءات.

يُلاحظ أن الخط المستقيم في الهندسة اللاأقليدية هو بمنظور الهندسة الأقليدية خط منحن. فنحن على سطح كرة لا يمكن أن نرسم خطًا مستقيمًا، بالمفهوم الأقليدي الصرف. لكننا مع ذلك يمكن أن نثبت أن الخط المنحني الواصل بين نقطتين على السطح المحدّب هو أقصر مسافة، وأن تحريك متجه عليه يحافظ على اتجاهه. وهذا بالضرورة هو خط مستقيم؛ لكن بالمفهوم اللاأقليدي.

الجاذبية والهندسة

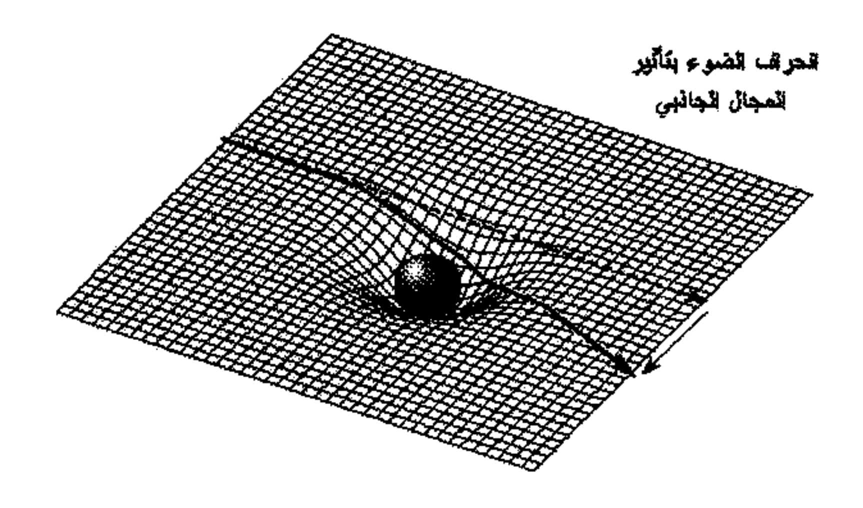
بعد تأمل عميق في قوة الجاذبية الكونية وعَلاقتها بالتسارع، خَلُص آينشتاين إلى أن مسار الضوء في المجال الجاذبي ليس خطًا مستقيمًا، بل إنه خط منحن بالضرورة؛ وكأن الكتلة المُسببة للمجال الجاذبي تؤثر في الضوء، فتجعله يسلك مسارات منحنية، مقتربًا من مركز الكتلة، كما في الشكل (١). وقد عالج آينشتاين هذه المسألة

أولاً في إطار مفهوم نيوتن للجاذبية ومفهومه هو للضوء، الذي عبّر عنه بنظريته في الفوتونات واعتباره إياها جُسيْمات ذوات كتل تساوي مقدار طاقتها مقسومًا على سرعة الضوء؛ أي أنه عالج العلاقة الجاذبية بين الفوتون والجسم الذي يجذبه كما في مفهوم نيوتن. كانت هذه هي البداية في تعامل آينشتاين مع الجاذبية. ومنها وجد أن الضوء الوارد إلينا من النجوم التي تقع خلف الشمس يجب أن ينحرف قليلاً بسبب جاذبية الشمس. وقد نشر آينشتاين عمله هذا عام ١٩١١ في ورقة بحثية معروفة. لكن، لمّا كانت نظرية نيوتن في الجاذبية لا تتفق أساسًا مع نظرية النسبية الخاصة، فقد كان لزامًا عليه تطوير هذه الفكرة إلى مداها الأوسع.



الشكل (١) : انحراف مسار الضوء عند مروره قرب حافة الشمس.

فبدلاً من التعامل مع طرفي القضية ـ وهما تكافؤ الطاقة مع الكتلة، والمجال الجاذبي المتبادل بين هذه الكتلة (كتلة الفوتون) وكتلة الجسم الذي يقع الفوتون في مجاله الجاذبي ـ لجأ آينشتاين إلى التفكير بطريقة هندسية صرفة. ذلك أنه ركّز على مسار الفوتون نفسه في الزمكان المحيط بالكتلة المولدة للمجَال الجاذبي؛ هذا المسار الذي وجده منحنيًا بالضرورة، وكأن الكتل تخلق حولها شبكة منحنية للزمكان، كما في الشكل (٢).



الشكل (٢) : مسارات الضوء المنحنية في المجال الجاذبي للكتلة.

تسمى مسارات الجُسيْمات في الفضاء المحدب معارجَ Geodesics ، ويسمى مسار الفوتون فيه المعراجَ الصفري Null geodesic ؛ حيث يتخذ الفوتون مساراً على خط منحنٍ، هو الآخر جزء من شبكة الزمكان التي تمثل الفضاء خارج الكتلة.

معادلات آينشتاين

ضمن هذا الإطار، توصل آينشتاين إلى صياغة المعادلات العامة للمجال الجاذبي بدلالة الممتدات وتحدب الفضاء. وبذلك، توصل إلى معادلة طرفها الأيسر هو الزمكان (أو الهندسة)، وطرفها الأيمن هو المحتوى المادي لذلك الزمكان.

وبهذه المعادلات، يمكن القول إن توحيد الزمكان والمادة قد تحقق، بعد أن كانت النسبية الخاصة قد وحدت الزمان والمكان، والطاقة والمادة. ومن المعروف أن آينشتاين حاول الاستمرار في منهج التوحيد هذا؛ فعمل على توحيد المجال الكهْرَمغناطيسي والجاذبي ثم المجالات الأخرى، للوصول إلى نظرية مجال موحّد يعبّر عن جميع القوى والمجالات الفيزيائية الممكنة في الكون. لكنه، بعد أكثر من ربع قرن من العمل، لم يُوفّق إلى إيجاد الصيغة العامة التي دعاها نظرية المجال الموحد.

تطبيقات نظرية النسبية العامة

تمثل معادلات آينشتاين في المجال العام صيغة أساسية وعمومية. وهي بإيجاز مجموعة معادلات تفاضلية تقرر هيئة الزمكان الذي يحدده المحتوى المادي. لكنّ هنالك معادلات أخرى لآينشتاين، تسمى معادلات المجال للفراغ Empty-space field equations، تحدد أيضًا هيئة الزمكان خارج مصادرالمجال الجاذبي.

كان من نتائج نظرية النسبية العامة أن حركة الضوء في المجالات الجاذبية تتخذ مسارات منحنية تكون هي بذاتها هيئة شبكة الزمكان؛ ما يعني أن الضوء ينحرف عن مساره بتأثير الكتل التي يمر قريبًا منها. ومن الجدير بالذكر أن نظرية النسبية العامة صححت الحسابات الأولية التي كان آينشتاين قد أجراها حول انحراف شعاع الضوء المار قريبًا من حافَة الشمس، اعتمادًا على تصوّر نيوتن للجاذبية. فوجد أن مقدار الانحراف، بموجب حسابات النسبية العامة، يبلغ ضعفَي ذاك الذي كان آينشتاين نفسه قد حسبه من قبل. وتأكّدت تنبّؤات النسبية بخصوص هذا الانحراف على يد بعثة علمية قاست مقدار انحراف شعاع الضوء المار قرب حافة الشمس خلال كسوفهـا الكلـي عام ١٩١٩. فجاءت النتائج قريبة جدًا من توقعات آينشتاين المعدلة، وَفْقًا لنظرية النسبية العامة.

تباطؤ الزمن بتأثير المجال الجاذبي: كان من نتائج نظرية النسبية العامة الكشف عن حقيقة تباطؤ الزمن قرب الكتل الكبيرة، مقارنة بالزمن في الأماكن ذات الجاذبية الضعيفة؛ ما يعني أن هنالك تناقصًا في تردد شعاع الضوء (زيادة في طول الموجة) المنبعث من سطوع النجوم ذوات الكتل الكبيرة.

تسمى هذه الظاهرة الانحياز الجاذبي الأحمر Gravitational redshift. وهي تَعني حدوث انزياح في خطوط الطيف الكهْرَمغناطيسي للنجوم إلى الجهة الحمراء من الطيف. ومقدار هذا الانزياح بالنسبة للشمس صغير جدًا: جزء واحد من مليون جزء. أما في النجوم الثقيلة، فإن مقداره يكون كبيرًا.

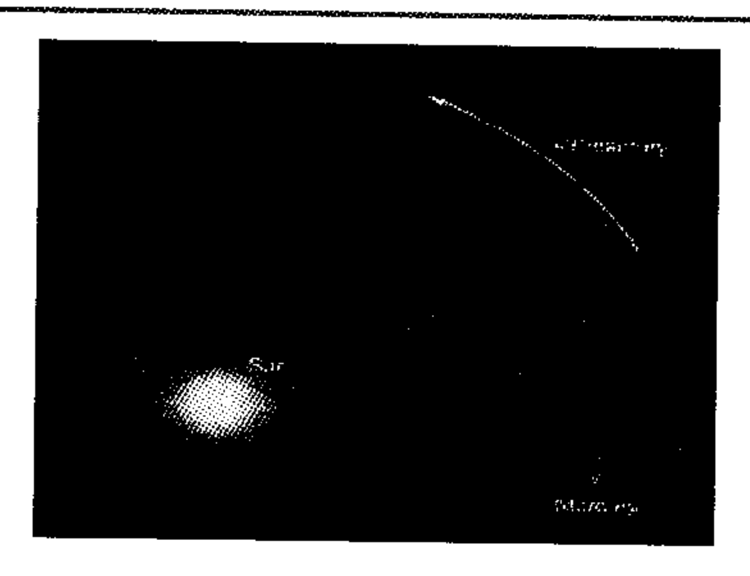
نوسان حضيض عُطارد: تدور الكواكب السيارة حول الشمس في مدارات

إهليلجية Elliptic، تقع الشمس في إحدى بؤرتيْها. وتدعى أقرب نقطة من الشمس على مدار الكوكب الحضيض Perihelion؛ في حين تدعى أبعد نقطة يبلغها الكوكب في مداره الأوج Aphelion. وقد لوحظ، بعد دراسة مدار كوكب عطارد لزمن طويل، أن حضيض الكوكب يدور حول الشمس ببطء كبير، كما في الشكل (٣).

عَزا الفلكيون هذه الحركة إلى التأثيرات التجاذبية بين الكوكب والشمس وبقية الكواكب. لذلك فإن مدار الكوكب نفسه لا يكون مستقراً تماماً؛ بل يتحرك حركة نواسية بحيث يتغير موقع حضيض المدار على مدى زمني طويل جداً. ونظراً لأن كوكب عُطارد هو الأقرب إلى الشمس، فإنه يخضع لأقوى جاذبية منها؛ ما يعني أن الحركة النواسية للحضيض تظهر بوضوح أكثر من غيره من الكواكب.

ولم تكن هذه الحركة النواسية أساسًا معروفة في الميكانيكا السماوية القائمة على نظرية نيوتن في الجاذبية. لكن نظرية النسبية العامة تمكنت من تقديم الحساب الصحيح. ومن المعلوم أن مقدار الزحزحة النواسية هذه هو ٤٣ ثانية قوسية في القرن!

انكماش الطول بتأثير المجال الجاذبي: لما كان الزمان والمكان متكاملين، بحيث تكون الفترة الزمكانية ثابتة على الدوام، فإن تباطؤ (تمدد) الزمن يفضي بالضرورة إلى انكماش الطول (المكان). فالمسافة الزمكانية يجب أن تكون محفوظة على الدوام. لذلك، فإن المسافة بين أي نقطتين في مجال جاذبي شديد تكون أقصر (مكانيًا) من تلك التي في مجال جاذبي ضعيف.



الشكل (٣) : توسان حضيض مدار عطارد.

موجات الجاذبية : تتنبأت نظرية النسبية العامة بصدور موجات جاذبية عن الكتل المتحركة. وهذا يماثل تمامًا صدور الإشعاعات الكهرَمغناطيسية عن حركة الشحنات الكهربائية. ومن الطبيعي أن تكون موجات الجاذبية مختلفة نوعيًا عن الموجات الكهرَمغناطيسية. لذلك، فإن كشفها يستلزم مجسات خاصة، هي غير المجسات التي نكشف بها فوتونات الضوء العادي. وعلى الرغم من هذا التنبؤ، فإن التجارب المكثفة لم تكشف فعليًا عن وجود هذه الموجات حتى الآن.

إلى ماذا تؤول نظرية النسبية العامة؟

تؤول نتائج نظرية النسبية العامة في حالة المجالات الجاذبية الضعيفة إلى نتائج قريبة جدًا من تلك التي تعطيها نظرية نيوتن في الجاذبية. وبالصيغة الرياضية، نجد أن قوانين نظرية النسبية العامة تؤول إلى قانون نيوتن في هذه الحالات.

أما قوانين الحركة في المجال الجاذبي، فتؤول إلى القوانين التي تُمليها نظرية النسبية الخاصة، حين يكون المجال الجاذبي ضعيفًا وسرعة الجسيمات فيه مقاربة لسرعة

الضوء . لكن ، إذا كانت سرعة الجسيمات صغيرة مقارنة بسرعة الضوء ، فإن قوانين الحركة في المجال الجاذبي تصبح مماثلة لقوانين نيوتن نفسها . هذه «النهايات الحدية» ضروريّة للتكامل العلمي بين نظريات الفيزياء . وقد أصبحت اليوم شرطًا أساسيًا لنجاح أية نظرية جديدة .

حلول معادلات آينشتاين

هنالك نوعان من الحلول لمعادلات آينشتاين :

النوع الأول: الحلول الموضعية المصدر Localized- source solutions .

وهي التي تصف المجال الجاذبي خارج توزيع كتلي معرّف ، كالمجال الجاذبي خارج سطح نجم مثلاً . وأشهر هذه الحلول هو حل تشفارزتشيلد Schwarzschild solution ، الذي يمثل شبكة الزمكان كمعارج منحنية تلتف حول الكتلة التي تقع في المركز .

ومن الجدير بالذكر أن شدة المجال الجاذبي في أي نقطة خارج الكتلة تتناسب مع مقدار تحدب الزمان ، على وجه الخصوص ، في تلك النقطة . وتتزايد شدة المجال الجاذبي ، ومن ثم انحناء الزمان ، كلما كانت النسبة بين كتلة الجسم ونصف قطره أكبر ؛ حتى إذا وصلت هذه النسبة إلى قدر معين هو $\frac{c^2}{2G}$ (c هي سرعة الضوء في الفراغ وG ثابت الجاذبية) ، أصبح المجال الجاذبي عند هذا السطح قويًا إلى درجة كبيرة جدًا ، حتى إن الضوء لا يستطيع الإفلات منه . يسمى الجسم عندئذ ثقبًا أسود Black hole .

وقد درج الفيزيائيون على القول إن وصول نسبة الكتلة إلى نصف القطر الحدّيّ المذكور يعني أن الكتلة ستنهار إلى نقطة رياضية تسمى منفردة Singularity ؛ حيث تكون كثافتها لانهائية . والحق أنّ هذا المفهوم تأتّى عن فكرة التكوير .

النوع الثاني : الحلول الكونية Cosmological solutions.

كان آينشتاين أول من بادر إلى تقديم حل كوني لمعادلاته ؛ بافتراضه أن الكون هو

توزيع متجانس Homogeneous ومتناسق Isotropic للمادة في جميع الاتجاهات. كما افترض، تمشيًا مع الفكر السائد آنذاك، أن الكون بمجمله نظام سكوني. والواقع أن حلول معادلاته لم تفضِ إلى صيغة مقنعة ذات مدلول مقبول. لذلك، عمد إلى تعديل معادلاته بإضافة ثابت سماه الثابت الكوني Cosmological constant. هذا الثابت يعني وجود قوة تنافر بعيدة المدى بين المجرات. وبذلك سكّن آينشتاين الكون. لكنه في الواقع حصل على حالة قلقة؛ إذ إن أي اضطراب في هذا الكون سيجعله يتمدد أو ينهار.

وكان ألكسندر فريدمان قد قام بحل معادلات آينشتاين الأصلية وحصل على كون يتمدد. ودفع اكتشاف إدوين هابل لتمدد الكون إلى التمسك بحلول فريدمان، على الرغم من وجود حلول أخرى مثل حل دي ستر de Sitter، الذي يتضمن حالة التمدد أيضًا. والخلاصة أن الحل النظري الأمثل لبنية الكون لم يتحقق بعد. وهنالك الكثير من المعضلات التي تثيرها التجارب والأرصاد.

نظرية الكم Quantum Theory

خلال العقود الخمسة الأخيرة من القرن التاسع عشر، نضجت دراسات الانبعاث والامتصاص الحراري للمواد إلى درجة كبيرة؛ معتمدة على القوانين الأساسية للديناميكا الحرارية، وعلى نظرية ماكسويل الكهرَمغناطيسية، وإحصاء بولتزمان. فهذه الفروع الثلاثة من المعرفة الفيزيائية شكلت منظومة متكاملة قادرة على فهم الظواهر والخصائص الحرارية للمادة بحالاتها [التقليدية] الثلاث: الصُّلبة والسائلة والغازيّة. فقوانين الديناميكا الحرارية تشخص العلاقات فيما بين الخصائص الحرارية الجاهرية، كدرجة الحرارة والضغط والحرارة النوعية والاعتلاج (الإنتروبيا) Entropy؛ في حين أن إحصاء بولتزمان أسس الجذور المجهرية لهذه الخصائص تأسيسًا عميقًا يجعل بالإمكان فهم الخصائص الجاهريّة في إطار دقيق من العَلاقات المجهرية. وبقيت النظرية الكهرَمغناطيسية إطارًا نظريًا مرشحًا لتفسير انبعاث الموجات الحرارية (أي الطاقة الحرارية) وامتصاصها من الأجسام، بما في ذلك تفسير الخصائص الضوئية

كاللون مثلاً. وهدفت هذه النظرية إلى تفسير الخصائص الطيفية للمواد الساخنة. ولما كانت النظرية معنية بالوصف الموجي للإشعاع بدلالة التردد وطول الموجة، فقد كان من الضروري إيجاد العَلاقات بين التردد ومقدار الطاقة المنبعثة، وبين التردد ودرجة الحرارة. وانصبّ الاهتمام على دراسة الطيف المرئي وما يجاوره من ترددات عند طرفيه في الجهة تحت الحمراء والجهة فوق البنفسجية. وكان كرشهوف Kirchhoff قد اكتشف قوانين الانبعاث الحراري للمواد، وبيّن أن هنالك ثلاثة أنواع من أطياف الأشعة هي:

١. الطيف المستمر Continuous spectrum: ويحتوي على جميع الترددات الممكنة؛ ممتدة من النطاق تحت الأحمر وحتى النطاق فوق البنفسجي وما بعده بشكل متصل. وهذا الطيف يظهر عند تسخين المواد الصلبة أو السوائل والغازات التي تكون تحت ضغط عال.

٢. طيف الانبعاث Emission spectrum: ويحتوي على خطوط لونية براقة تظهر في مواقع معينة على سلم الطيف. وهذا النوع يظهر عند تسخين الغازات التي تكون تحت ضغوط منخفضة.

٣. طيف الامتصاص Absorption spectrum: عند وضع بخار مادة في طريق الطيف المستمر، تقوم المادة المعترضة بامتصاص الإشعاعات التي تناسب خصائصها الذرية والجُزيئيّة، وتترك بقية الإشعاعات تمر من دون تأثير. لذلك، يظهر الطيف المستمر في هذه الحالة مشوبًا بخطوط داكنة في مواضع معينة من الطيف؛ وهي بالضبط مواقع الترددات التي امتصّتها المادة المعتمة. ويدعى كل من طيفَي الانبعاث والامتصاص أيضًا الطيف الخطي Line spectrum.

لقد كان لتطور تقنية التحليل الطيفي في نهاية القرن التاسع عشر فوائدُ عظيمة في تحليل المركبات الكيميائية والكشف عن خصائصها. وتمكن الفيزيائيون من وضع أدلة تحتوي على عدد هائل من أطياف المواد المختلفة، مكنتهم من تمييز التركيب الكيميائي للمواد؛ إذ كانت هذه الأدلة تحتوي على ما يمثل «بصمة» العنصر المعنيّ.

إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation

إلى جانب هذه التصنيفات، برهن كرشهوف عام ١٨٥٩ أن الطاقة المنبعثة من جسم ساخن تعتمد على درجة حرارته وتردد الضوء المنبعث منه فقط. وتساءل كرشهوف عن نوعية العَلاقة التي تربط بين كمية الطاقة الإشعاعية ودرجة الحرارة والتردد المنبعث. كما استنتج ستيفان عام ١٨٧٩، من خلال أعماله التجريبية، أن الطاقة الكلية المنبعثة من جسم ساخن تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته. وأثبت ذلك بولتزمان هو الآخر، اعتماداً على قوانين الديناميكا الحرارية ونظرية ماكسويل الكهرَمغناطيسية. وفي عام ١٨٩٦، اقترح ڤين Wienحلاً لتساؤل كرشهوف عن العلاقة بين كمية الطاقة ودرجة الحرارة والتردد. كما اقترح كل من جينز ورايلي عَلاقة أخرى نجحت في تفسير انبعاث الطاقة للترددات المنخفضة فقط. وهكذا، كان على الفيزيائيين تفسير هذه المعضلة التي عُرفت باسم مشكلة الجسم الأسود.

فرضية پلانك: في عام ١٩٠٠، اقترح ماكس پلانك علاقة جديدة تقوم على تصور يخالف نظرية ماكسويل الكهرَمغناطيسية. هذا التصور يرى أن انبعاث الطاقة وامتصاصها يحدث على شكل رزم محددة تتناسب قيمتها مع التردد. وقد صاغ هذا بموجب العلاقة المشهورة بين الطاقة E والتردد v:

$$E= hv.$$

وبذلك حُلّت معضلة امتصاص الطاقة وانبعاثها بتصوّر جديد يقوم على مبدأ الانفصال Discreteness؛ مخالفًا المبدأ الذي تقوم عليه نظرية ماكسويل، وهو مبدأ الاتصال Continuity.

كان عمل پلانك هذا إيذانًا بفتح جديد في ميدان المعرفة الفيزيائية. وهذا ما سُمّي لاحقًا نظرية الكم Quantum Theory. وتكريمًا لعمله هذا، حصل پلانك على جائزة نوبل في الفيزياء لعام ١٩١٨.

ظاهرة التأثير الكهرَضوئي Photoelectric effect: استثمر آينشتاين تصور پلانك الكمومي للطاقة في تفسير التأثير الكهرَضوئي. في هذه الظاهرة، تنبعث

الإلكترونات من سطوح بعض المواد ذات المواصفات الخاصة، كالسيزيوم، عند تسليط ضوء عليها. هذه الخاصية لم تكن مفهومة قبلاً؛ إذ ظهر أن طاقة الإلكترونات المنبعثة لا تعتمد على شدة الضوء المسلط، بل على تردده. وهذه حالة غريبة على التصور الكهرَمغناطيسي للإشعاع؛ إذ إن النظرية الكهرَمغناطيسية تقرر أن سرعة انطلاق الإلكترونات من السطح الحساس يجب أن تتناسب طرديًا مع شدة الضوء المسلط، وليس مع تردده. لكن توافر التصور البلانكي الجديد أتاح الفرصة أمام آينشتاين لتفسير هذه الظاهرة باعتبار الضوء مؤلفًا من كمّات منفصلة، لكل منها طاقة تعتمد على تردده مباشرة، سميت الفوتونات Photons؛ وكل منها مسؤول عن إخراج إلكترون واحد من سطح المادة الحساسة. وبذلك، فهم الفيزيائيون لماذا لا تعتمد سرعة الإلكترونات المنبعثة على شدة الضوء (عدد الفوتونات)؛ فإن انتزاع الإلكترون يتطلب حدًا أدنى من الطاقة التي يمتلكها فوتون بتردد معين. وتكريمًا لهذا العمل (وليس لنظرية النسبية)، حصل ألبرت آينشتاين على جائزة نوبل لعام ١٩٢١.

التحليلات الطيفية: بقيت مسألة فهم الأنماط الطيفية المختلفة معضلة أمام الفيزيائيين النظريين. وخلال العَقدين الأخيرين من القرن التاسع عشر جرت دراسات تجريبية موسعة على الأطياف المختلفة للمواد، أوصلت علم التحليل الطيفي إلى مراق عالية. لكن الأسس النظرية لانبعاث هذه الأطياف بقيت مجهولة.

وتحديدًا، كان السويدي بالمر Balmer قد اكتشف عام ١٨٨٥ أربعة خطوط طيفية منبعثة من غاز الهيدروجين المخلخل، رُمز إليها بالحروف H_α و H_β وH_γ وH_δ، ذات أطوال موجية ٣,٦٥٦ و ١,٤٨٦ و٠,٤٣٤ و٢,٤١٠ مايكرومتر، على التوالي. ودعيت هذه الخطوط سلسلة بالمر Balmer series. ثم وضع بالمر قانونًا وضعيًا لهذه الأطياف بدلالة أعداد صحيحة تحدد الطول الموجي المنبعث من مصدر ساخن:

$$\lambda \alpha \frac{n^2}{n^2 - 4},$$

حيث تأخذ n القيم ٣ و٤ و٥ و٦، على التوالي.

سلسلة بالمر هذه هي واحدة من سلاسل طيفية عدة اكتشفت لاحقًا، وهي: سلسلة ليْمان Lyman؛ وسلسلة پاشن Paschen؛ وسلسلة پفوند Pfund؛ وسلسلة براكت Brackett. وشكل تفسير السلاسل الطيفية هذه تحدّيًا كبيراً للفيزيائيين النظريين. لذلك، ظهرت الحاجة إلى دراسة البنية الذرية بصورة أعمق.

البنية الذرية: كان التصور السائد نهاية القرن التاسع عشر أن الذرة مؤلفة من كرة موجبة الشحنة، تنغرز فيها جسيمات سالبة الشحنة هي الإلكترونات. وسمي هذا نموذج ثمسون Thomson model. ومن خلال دراسة التفاعلات الكيميائية للغازات، قدّر قطر كرة الذرة (أي قطر المادة الموجبة) بمقدار $١٠^{-٨}$ سم. فقام عدد من الفيزيائيين بإجراء تجارب للكشف عن حجم هذا الجزء الموجب. واعتمدت هذه التجارب على فكرة تسليط حزمة من دقائق موجبة الشحنة، تسمى جسيمات ألفا (مؤلفة من پروتونين ونيوترونين)، على صفيحة رقيقة جداً من الذهب؛ ومن ثم ملاحظة كيفية استطارة هذه الحزمة عن الصفيحة.

تكللت نتائج هذه التجارب التي قادها الفيزيائيّ البريطانيّ (النيوزيلنديّ الأصل)، لورد إرنست رذرفورد، بالنجاح. وأظهرت إحدى النتائج أن قطر المادة الموجبة من الذرّة هو بحدود $١٠^{-١٢}$ سم؛ أي ١/ ١٠٠٠٠ مما كان متوقعًا.

هنا برز التساؤل: أين تكون الإلكترونات؟ افترض رذرفورد أن الإلكترونات تسبح حول المادة الموجبة في أفلاك دائرية، كما تسبح الكواكب حول الشمس. لكن هذا النظام الكوكبي سرعان ما واجه عقبة كأداء؛ نظرًا لأن دوران الإلكترونات في هذه الأفلاك يُكسبها تسارعًا. وهذا التسارع يؤدي إلى فقدان الإلكترونات لطاقتها الكامنة عن طريق الإشعاع؛ فتنهار أفلاكها صوبَ النَّواة. لذلك، لم يُتقبّل هذا النموذج في أوساط الفيزيائيين.

نموذج بور Bohr Model

لاحظ الفيزيائيّ الدنماركي نيلز بور أن طبيعة الطيف الكهرَمغناطيسي المنبعث

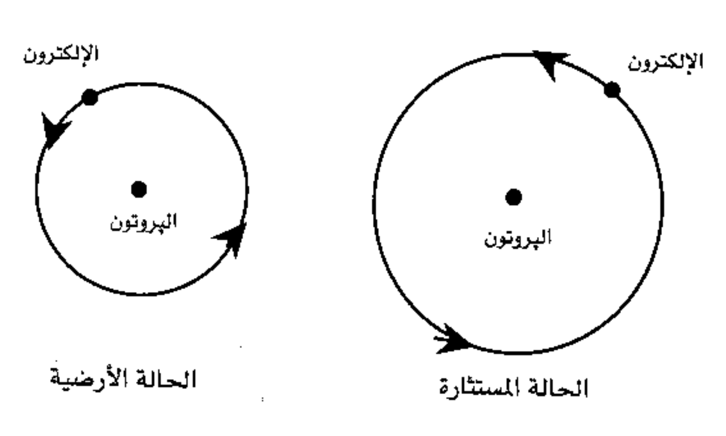
والممتص من الذرات (الطيف الخطي) يشير إلى وجود تكمية Quantization لطاقة الذرة. لذلك، افترض بور أن الإلكترونات تدور حول نواة الذرة في مدارات دائرية، وأن هذه المدارات معرّفة بشكل يجعل الزخْم الزاوي للإلكترون في كل مدار يتخذ قيمًا محددة، هي مضاعفات صحيحة لثابت بلانك. سُمي هذا المبدأ فيما بعد مبدأ بور-زمرفلد للتكمية Bohr-Sommerfeld quantization rule. وفعلاً تمكّن بور، بموجب هذا المبدأ المهم جداً، من حساب طاقة الإلكترون في المدارات المختلفة؛ ومن ثم تفسير الطاقة المنبعثة عن الذرة. فحين ينتقل الإلكترون من مستويات (مدارات) عليا (تدعى مستويات مستثارة Excited states) إلى مستويات دنيا، فإنه يفقد طاقة تظهر على شكل فوتون. أما حين تمتص الذرة طاقة معينة، فإن الإلكترون ينتقل من مستوى منخفض إلى آخر أعلى. ونظراً لأن مدارات الإلكترونات تقع في مواضع محددة حول النواة، فإن الذرة تمتص الضوء وتبعثه على شكل كمّات. وقد استُنبطت معادلة لحساب الطول الموجي λ المنبعث عن ذرة الهيدروجين بناءً على نموذج بور، هي:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 e^4 m}{ch^3}\left(\frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2}\right),$$

حيث e شحنة الإلكترون، وh ثابت بلانك، و m كتلة الإلكترون، و c سرعة الضوء. وتمثل n في هذه الصيغة رقم المستوى الذي ينتقل إليه الإلكترون، و k رقم المستوى الذي ينتقل منه الإلكترون.

جاءت هذه الصيغة تفسيراً عامّـاً لجميع سلاسل الطيف الذري. فإذا وضعنا n = 1 في المعادلة أعلاه، حصلنا على سلسلة ليْمان؛ وإذا وضعنا n = 2، حصلنا على سلسلة بالمر؛ وإذا جعلنا n = 3، حصلنا على سلسلة پاشن؛ وإذا كانت n = 4، حصلنا على سلسلة پفوند؛ وإذا كانت n = 5، حصلنا على سلسلة براكت. يسمى n العدد الكموميّ الرئيسي Principal quantum number. وهو عدد صحيح يحدد مستويات الطاقة الرئيسية في الذرة، ويأخذ القيم ١ و ٢ و ٣ . . . .

جاءت الصيغة التي وجدها بور مطابقة لكمّات الطاقة المنبعثة والممتصة من الذرة المحدّدة تجريبيًا في حالة ذرة الهيدروجين؛ وهذا ما أعطى دعمًا قويًّا لتصوّر بور.



الشكل (٤) : الذرة في أحوال مختلفة.

لاحقًا، لوحظ أن لمستويات الطاقة الرئيسية مستويات فَرْعيّة؛ إذ إن خطوط الطيف المنبعث من ذرات الغاز الموجود في مجال مغناطيسي تنشطر إلى مستويات متعدّدة. ووجد أن عدد هذه المستويات يكون عادة n^2 . كما وجد لاحقًا أن هذا الانشطار متسبّب عن العزم الزاوي للإلكترون في أثناء دورانه حول النواة. ولأن الإلكترون هو جسيم مشحون، فإنه يولّد بدورانه عزمًا مغناطيسيًّا. لذلك، عُيّن عدد كموميّ للدلالة على العزم الزاوي للإلكترون هو ℓ، ويأخذ القيم ٠ و ١ و ٢ و٣ . . . لغاية $(n-1)$. يُسمّى انشطار مستويات الطاقة الذرية هذا تحت تأثير المجال المغناطيسي تأثير زيمان Zeeman effect. وخُصّص عدد كموميّ مغناطيسي هو m، ويأخذ القيم من-١ إلى +١، بزيادة واحد لكل مستوى فرعي. وكشف فيما بعد أن المستوى الأدنى للذرة، الممثل بالقيمة n = 1 الذي له $\ell = o$ و $m_\ell = o$، ينشطر هو الآخر إلى مستويين ثانويين تحت تأثير المجال المغناطيسي الشديد. وقد حيّرت هذه الظاهرة الفيزيائيين؛ لأنه لم يكن معلومًا لديهم أية طاقة أخرى تحتويها مستويات الإلكترونات في الذرة غير التي عرفوها. لكنهم

انتبهوا بعد ذلك إلى حقيقة أن الإلكترون هو شحنة؛ وإذا كان الإلكترون ليدور حول نفسه، فإنه سيمتلك بالضرورة عزمًا ذاتيًّا ربما يؤدي إلى ظهور هذه المستويات الفَرْعية في الحالة الدنيا. وعلى هذا الأساس، افترض ڤولفغانغ پاولي Pauli وجود بَرْم Spin للإلكترون رمز إليه بالحرف S. وبناءً على ذلك، فلا بد من وجود عدد كموميّ مغناطيسي يدل على وجود هذا البرم. ونظرًا لتشابه صفات العزم البرمي هذا مع العزم المغناطيسي المداري، خُصِّص العدد الكمي m_s للتعبير عنه. وبما أن المستويات الفرعية تنشطر إلى مستويين ثانويين فقط، فإن m_s يأخذ إحدى قيمتين لا ثالث لهما، هما: $+\frac{١}{٢}$ و $-\frac{١}{٢}$. سميت هذه الظاهرة تأثير زيمان الشاذ Anomalous Zeeman effect.

حيود الإلكترونات Electron Diffraction

خلال العشرينيات من القرن الماضي، أجريت تجارب عدة على الإلكترونات عند مرورها خلال الشقوق الضيقة جدًا. مثل هذه الشقوق توجد بين المستويات البلورية Crystal planes. فوُجِد أن الإلكترونات تتصرف مثل الضوء عند مروره خلال الشقوق الضيقة، فيما يعرف بظاهرة الحيود؛ حيث تنشأ على اللوح الذي تسقط عليه الحزمة الخارجية من الشق الضيق حزم مضيئة وأخرى معتمة في نسق يسمى نسق الحيود Diffraction pattern. وقد وجد لظاهرة حيود الإلكترونات هذه تطبيقات مفيدة في الكشف عن أبعاد البلورات ومعرفة هندستها، ومن ثمَّ معرفة خصائصها الدقيقة.

لذلك، اقترح الفيزيائي الفرنسي لوي دي برولي de Broglie عام ١٩٢٤ تصورًا موجيًّا للإلكترون (وسائر الجُسيْمات)؛ يكون بموجبه للجسيم موجة مرافقة تمثله في حالة مروره بين الشقوق، وتؤدي إلى حدوث ظاهرة الحيود، التي ما كانت لتكون لو كان جُسيْمًا صرفًا. وقد توصل دي برولي إلى عَلاقته الشهيرة:

$$\lambda = \frac{h}{p},$$

حيث λ هو الطول الموجي المعبّر عن الجسيم الذي يمتلك زخمًا قدره p، و h ثابت بلانك.

إن لهذه العلاقة مضمونًا عميقًا. فهي تفسر مبدأ بور-زُمرفلد بأن مدار الإلكترون حول النواة (على افتراض أنه دائري) يحتوي على عدد صحيح من الأطوال الموجية. لذلك، فإن المدارات تتخذ مسارات دائرية هي أعداد صحيحة من الأطوال الموجية λ. وهنا يجب الإشارة إلى أن موجات دي برولي ليست موجات كهْرَمغناطيسية؛ بل هي موجات من نوع جديد يسمى موجات المادة Matter waves.

مبدأ اللاتحديد Uncertainty Principle

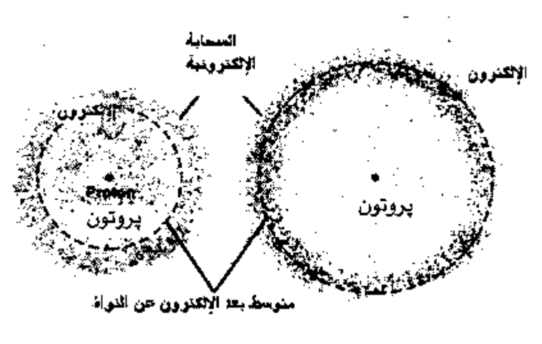
من جهة ثانية، كشف ڤيرنر هايزنبرغ عام ١٩٢٤ أنه لا يمكن قياس موقع جسيم وزخمه في آن معًا بدقة لامتناهية. وبيّن هايزنبرغ أن مضروب مقدار اللاتحديد في قياس زخم الجسم Δp مع اللاتحديد في قياس موقعه Δx يجب أن يكون مساويًا لثابت بلانك على الأقل ($\Delta p \, \Delta x \geq h$). وهذا يعني أنه لا يمكن أن يكونَ اللاتحديد في قياس موقع الجسيم أو زخمه صفرًا على الإطلاق. سُمي هذا مبدأ اللاتحديد لهايزنبرغ. وقد وجد أن هذه العَلاقة هي جزء من منظومة أوسع من العلاقات تشتمل على ما يُسمى المؤثّرات المتكاملة Complementary operators. وهي (إضافة إلى الزخم والموقع): الطاقة والزمن، والزخم الزاوي والموقع الزاوي، . . . إلخ. إن مبدأ هايزنبرغ هذا يقضي بأن طاقة أي جسم مهما صغرت لن تصبح صفرًا. وهذا يعني بالضرورة أنه لا يوجد جسيم ساكن سكونًا مطلقًا في الكون. ولمبدأ اللاتحديد مضامين عميقة ربما لا يزال بعضها غير معروف. وقد استطاعت ميكانيكا المصفوفات Martix Mechanics لهايزنبرغ تأصيل الأساس النظري لهذه العلاقات في جملة ما يُسمى القواعد التبادلية Commutation rules.

معادلة شرودنغر Schrödinger's Equation

إزاء هذه الصورة وهذه الكشوفات الجديدة، برزت الحاجة إلى نظرية في الحركة

الكمومية. فوضع إيرفن شرودنغر عام ١٩٢٤ معادلة الحركة للجسيمات اللانسبوية. وجاء التعبير في هذه المعادلة عن الجسيم بدلالة ما يسمى دالة الموجة Wave function. عند هذه المرحلة، انتقلت ميكانيكا الكم من التفكير «المجسّد» إلى التفكير «المجرّد». فدالة الموجة هذه هي كمية مركّبة (معقّدة Complex) بصورة عامة؛ ولا معنى لها بذاتها. فهي تعبر عن اتساع موجة دي برولي التي تمثل الجسيم؛ علمًا بأن الموجة هي عبارة عن تركيب عدد لانهائي من الموجات. وقد فُسّر مربع دالة الموجة على أنه يمثل كثافة احتمالية وجود الجسيم في موقع معين. وقد تمكنت معادلة شرودنغر من تقديم صورة مبسطة عن حالة الجسيمات في العالم المجهري؛ خاصة تصرف ذرة الهيدروجين، وإلى حد ما ذرة الهيليوم.

بموجب التفسير الاحتمالي لدالة الموجة، أصبحت مواقع الجسيمات وزخومها وطاقاتها المجهرية متوسّطات لعدد كبير (ربما لانهائي) من القيم. لذلك، أصبح التعبير عنها بدلالة القيم المتوقعة Expectation values، بدلاً من القيم الحتمية. وهكذا، أصبحت صورة الذرة مشوشة إلى حد كبير، خاصة في الطاقات الدنيا. فصارت المدارات الإلكترونية أشبه بسحابة حول نواة الذرة؛ أنظر الشكل (٥). وأصبحت قوانين الطبيعة احتمالية، بدلاً من كونها حتمية حسب التصور الكلاسيكي. فحل الوصف الاحتمالي Probabilistic description محلّ مبدأ الحتمية Determinism.



الحالة الأرضية الحالة المستثارة

الشكل (٥): الذرة بعد شرودنغر وهايزنبرغ.

معادلة الكم النسبوية Relativistic Quantum Equation

نظرًا لوجود جسيمات تتحرك بسرعة عالية جدًا، ولأن معادلة شرودنغر عالجت الجسيمات اللانسبوية فقط، قام پول إدريان ديراك Dirac عام ١٩٢٨ بوضع معادلة للحركة النسبوية للإلكترون؛ وذلك باعتماد معادلة آينشتاين للطاقة الكلية، بدلاً من الصيغة التقليدية المشتقة من قوانين نيوتن. وقد كشفت معادلة ديراك بشكل رائع عن مضمونين:

الأول: أن بَرْم الإلكترون هو صفة كمومية خالصة؛ لأن نموذج الشحنة التي تدور حول نفسها لا يَفي الغرض.

والثاني: وجود ضَديدات الجُسَيْمات Antiparicles. فقد تنبّأ ديراك بوجود جسيم ذات كتلة مساوية لكتلة الإلكترون، لكن بشحنة موجبة. هذ الجسيم سُمّي فيما بعد البوزيترون Positron. وجاء اكتشاف بول أندَرسن لهذا الجسيم في المختبر عام ١٩٣٢ دعمًا قويًا لنظرية ديراك. وحصل ديراك إثر ذلك على جائزة نوبل في الفيزياء بجدارة. قدمت نظرية ديراك تصورات جديدة فيما يتعلق بمفهوم العدم [أو الخلاء] Vacuum. فبدلاً من أن يكون العدم هو اللاشيء، صار بحرًا من الجسيمات ذوات طاقة سالبة. وأصبح ظهور البوزيترون يعني ترك مقعد شاغر في بحر الطاقة السالبة. وبذلك مُهّد لنظرية أكثر اتساعًا وشمولاً؛ تلك هي نظرية المجال الكموميّ.

نظرية المجال الكموميّ Quantum Field Theory

قدمت المبادئ الأولى التي وضعها پلانك وبور وشرودنغر وهايزنبرغ وديراك تصوّرات هي أشبه بجزر متناثرة في محيط الفيزياء الواسع. فالكمّات التي عبرت عنها نظرية پلانك، والتكمية التي اقترحها بور، ومعادلة الموجة التي قدمها شرودنغر، ثم معادلة الحركة الكمومية النسبوية التي طرحها ديراك، وعَلاقات هايز نبرغ في مبدأ اللاتحديد؛ كلها كان لا بد من جمعها تحت خيمة نظرية واحدة. هذه النظرية (التي ضمّت نظرية النسبية إلى ميكانيكا الكم) تفترض أساسًا وجود مجال متصل يُعبّر عنه بدلالة تراكب موجي اتصالي، تحكمه العَلاقات التبادلية بين المؤثرات Operators،

التي تمثل اتساعات Amplitudes تلك الموجات المتراكبة (عبر مفكوك فورييه Fourier ex-(pansion. فهذه العلاقات التبادلية هي التي تفرض الكمومية، بحكم اتصالها بمبدأ هايزنبرغ أصلاً.

وهكذا تظهر الكمّات في نظرية المجال الكمومي، وكأنها نتاج عرضي لتداخلات أنماط Modes المجال الاتصالي الأصلي.

هذا التصور بمجمله احتوى «اللامتناهي» في وصف ما هو متناه. فقد ظهرت «تباعُدات» (لانهائيّات) Divergences عند حساب الكميات الفيزيائية. وكانت هذه هي المعضلة الأساسية التي واجهتها نظرية المجال الكمومي. وتسمى هذه مشكلة التباعدات. وعلى الرغم من وجود «وصفات» عدّة لمعالجتها، فإنّها مشكلة مزمنة ما زالت قائمة في هذه النظرية.

اعتمدت الحسابات التطبيقية لنظرية الكم ونظرية المجال الكمومي لاحقًا طرق التقريب Approximation methods. وبالأخص، كان لنظرية المجال الكمومي ونظرية الكروموديناميكا الكمومية Quantum Chromodynamics، التي تتناول القوى النووية الشديدة Strong، نتائج جاءت قريبة من تلك المستخلصة من التجارب.

وعمومًا، يمكن القول إنّ فهم البنية الذرية والجزيئية للمادة بدقة مكّن الكيمياء من تحقيق تطور كبير في تصنيع طيف واسع من المركبات الكيميائية المفيدة. كما مكن الفيزياء من حساب طاقات الذرات المختلفة وخصائص المركبات البلورية؛ ما أدى إلى تطوير تقنيات جديدة في التحليل وفي المعالجة، مثل تقنيات الليزر المتعددة الأغراض، وتقنية التحليل الطيفي، وتقنيات المواد شبه الموصلة.

الفيزياء النووية

شهد النصف الأول من القرن العشرين تطوراً هائلاً في الفيزياء النووية. وكانت فاتحة هذا التطور اكتشاف تشادويك Chadwick للنيوترون عام ١٩٣٢. وكان هارولد كليتون يوري Urey في عام ١٩٣١ قد اكتشف نظير عنصر الهيدروجين المسمى الديوتيريوم Deuterium، وتمكن من توليد الماء الثقيل منه بعد أكسدته. وتحتوي نواة

الديوتيريوم على نيوترونين وبروتون واحد. وقد استعمل في بعض التفاعلات النووية. وفي عام ١٩٣٣، تمكنت آيرين جوليوت - كوري وزوجها فردريك جوليوت - كوري من تصنيع أول نواة مشعة. وبذلك بدأ عصر تصنيع العناصر المشعة مختبريًا. وفتحت له أبواب كثيرة في الطب وعلوم الحياة والكيمياء وعلوم المواد وعلوم الآثار.

وكان إنريكو فيرمي يعمل مع مجموعة من زملائه لإنتاج عناصر صناعية أثقل من اليورانيوم (وهو أثقل عنصر طبيعي)، وذلك بقصف نواة اليورانيوم بحزمة من النيوترونات. في الوقت نفسه، اكتشف الزوجان كوري، وهان وستراسمان الألمانيان، أن نواة ذرة اليورانيوم تنشطر إلى نصفين عند قصفها بالنيوترونات البطيئة؛ مطلقة بذلك طاقة هائلة. وسُمّي هذا الانشطارَ النووي Nuclear fission. وبه بدأ العصر النووي. وتمكن فيرمي وزملاؤه عام ١٩٤٢ من السيطرة على سلسلة الانشطارات النووية لليورانيوم؛ ومِن ثم تمكنوا من بناء مفاعل نووي صغير. بعد ذلك، تبنت الحكومة الأمريكية برنامجًا سريًا يستهدف تصنيع السلاح النووي، الذي أدى مهمته في نهاية الحرب العالمية الثانية؛ إذ أسقطت أول قنبلة نووية على مدينة هيروشيما، وبعدها ناغازاكي، في آب/ أغسطس ١٩٤٥، بتدمير غير مسبوق للحياة وللبيئة. إلى جانب ذلك، اكتُشف أن اندماج العناصر الخفيفة يحرر طاقة أكبر من تلك التي يحررها الانشطار النووي. ويحدث الاندماج النووي عند حرارة عالية جدًا تبلغ بضعة ملايين من الدرجات.

اعتمد هانز بيته Hans Bethe نظرية الاندماج النووي لتفسير توليد الطاقة في الشمس (والنجوم بصورة عامة). ففي هذه التفاعلات تندمج أربعة بروتونات لتؤلف نَواة هيليوم[٤] واحدة. وينتج عن ذلك تولد بوزيترونين وطاقة هائلة تمثّل الطاقة التي تصدرها الشمس. وبذلك حُلّت معضلة مصدر طاقة الشمس والنجوم.

إن البحوث الجارية حاليًا ترمي إلى تسخير الاندماج النووي لتحصيل طاقة رخيصة نسبيًا. والصعوبة العملية تكمن في عدم القدرة على السيطرة على عمليات الاندماج؛

فضلاً عن عدم تحقيق الشروط اللازمة لتحقيق لاندماج نفسه. وفي عام ١٩٩٣، شُغّل مفاعل **التوكوماك** الأمريكي. وهو مفاعل اندماجي؛ لكن الطاقة التي يولدها أقل من الطاقة التي يستهلكها! لذلك، تعدّ مفاعلات الاندماج حاليًا غير مُجدية. والأمل أن يتغيّر هذا الوضع في القرن الحالي (الحادي والعشرين).

مسارعات الجسيمات Accelerators

كان رذرفورد قد اعتمد على مصدر طبيعي للحصول على جسيمات ألفا التي استخدمها لقصف نَوَى ذرات الذهب. لكن المصادر الطبيعية لا توفر الطاقات المطلوبة لدراسة الجسيمات الأولية وتحطيم النوى. لذلك، بُنيت مسارعات نووية، بدأت بمسارع ڤان دي غراف بقدرات بسيطة. ثم تطوّرت إلى اختراع السايكلوترون. وتصاعدت الطاقات بعد ذلك ببناء المسارعات الخطية والمسارعات الحلقية. وكان من أهمها مسارع الجسيمات في بروكهيڤن بالولايات المتحدة الأمريكية، الذي أنشيء في خمسينيات القرن الماضي، بطاقة قدرها ٣ آلاف مليون إلكترون فولط (3 GeV). ثم المسارعات الحلقيّة وسواها في مختبر البحوث النووية والجسيمات الأوروبي (سيرن CERN)، الذي يقع على الحدود بين فرنسا وسويسرا. كما أنشأت الولايات المتحدة مسارعات كبيرة مثل مسارع فيرمي الوطني. وقد ناهزت طاقة المسارعات الحالية ٢ مليون مليون إلكترون فولط (2 TeV).

وتُستعمل في هذه المسارعات كواشف Detectors متعددة الأنواع لإظهار حركة الجسيمات وأنواعها وشحناتها، وغير ذلك من صفاتها. وأهم هذه الأجهزة حجرة الفُقّاعات Bubble chamber، وحجرة السحاب Cloud chamber، وحجرة الشرارة Spark chamber؛ علاوة على العدّادات الوميضية Scintillation counters. وهنالك كواشف الحالة الصُّلبة Solid state detectors؛ وهي على أنواع متعدّدة.

إن الحركة البحثية الهائلة، التي تمخض عنها ذلك الاهتمام المحموم بدراسة بنية المادة والطاقة، أدت إلى تطوير تقنيات هائلة في مجالات كثيرة.

الجسيمات الأولية Elementarey Particles

حين فكّر الإنسان قديمًا بالذرة، تصورها كرة مصمتة غير قابلة للقسمة. لكن اكتشاف الإلكترون وبعده البروتون، ثم النيوترون، أكد أن الذرة مؤلفة من جسيمات دقيقة. ثم اكتشف الفيزيائيون عائلات من الميزونات Mesons، وهي جسيمات وسيطة توجد بين الجسيمات المؤلفة لنواة الذرة. وصار لزامًا إيجاد نظرية أو إطار نظري يُفسّر عَلاقات هذه الجسيمات بعضها ببعض، ويحدد صيغ تفاعلاتها.

اكتشاف الجُسيمات الأولية

في عام ١٩٣٥، استنبط يوكاوا Yukawa نظرية لتفسير القوى النووية التي تعمل على ربط أجزاء النواة بعضها ببعض. وتنبّأ بأن جسيمًا ذا كتلة متوسطة بين كتلة الإلكترون وكتلة البروتون (بحدود ٢٤٠ مرة كتلة الإلكترون) يعمل على هذا الربط. وفي عام ١٩٣٦، اكتشف بول أندرسن وزملاؤه هذا الجسيم في الإشعاعات الكونية الثانوية، وسُمّي ميزون ميُو (أو الميُون Muon). وقد ظن البعض أن هذا هو الجسيم النووي الرابط؛ لكن التجارب التي أجراها باول Powel وآخرون أظهرت أن هنالك جسيمًا آخر ذا كتلة قدرها ٢٧٠ مرة كتلة الإلكترون، سمي ميزون پاي (أو البَيُون Pion). وشُخّص على أنه هو الجسيم الذي يفسّر القوة النووية.

ومنذ ذلك الحين، كُشف عن الكثير من الجسيمات في الإشعاعات الكونية الثانوية؛ أو في المسارعات الكبيرة، حيث تُجرى تصادمات عنيفة بين حزم من جسيمات مختلفة. وفي أثناء ذلك، يتطاير فتات من الجسيمات الجديدة، بعضها مستقر وبعضها الآخر غير مستقر، سرعان ما يتحلّل إلى جسيمات أخرى. ومن هذه الجسيمات ما يُسمّى الهدرونات والميزونات الثقيلة*، التي لها كتل تتراوح بين كتلة پروتون واحد إلى

* هنالك أُسرتان رئيسيّتان من الجُسيمات: ١. الهَدْرونات Hadrons، التي تشترك في التّفاعلات «القويّة»؛ ٢. اللبتونات Leptons، التي تشترك في التّفاعُلات «الضعيفة».
وتشتمل الهَدْرونات بدورها على مجموعتين، هما: الباريونات Baryons والميزونات Mesons. والباريون جُسيم مركّب من ثلاثة كواركات؛ أمّا الميزون فهو جسيم مركّب من كوارك وضّديد كوارك. أمثلة على الباريونات: النيوكليون (أي البروتون والنيوترون)؛ وهذه أيضًا هَدرونات. وعلى اللبتونات: الإلكترون والنيوترينو. (**المحرر**)

ثلاث كتل پروتونية. كما كُشف في ثمانينيات القرن العشرين عن الجسيمات البوزونيّة الثقيلة W و Z، المسؤولة عن القوى النووية الضعيفة. وهذه الجسيمات بعضها موجب الشحنة، وبعضها سالب الشحنة، وبعضها الآخر عديم الشحنة. لكنها جميعًا تحمل شحنة كهربائية موحدة هي شحنة الإلكترون. ومعظم هذه الجسيمات غير مستقر، يظَل على حاله لمدة 10^{-8} إلى 10^{-14} ثانية فقط؛ ثم لا يلبث أن يتحلل إلى جسيمات أخف. ولكل من هذه الجسيمات ضَديدُه الذي يحمل عكس شحنته بالطبع؛ ولكل منها عزمه الزاوي الذاتي (البَرْم)؛ وجمَيعها تخضع لقوانين حفظ الأعداد الكموميّة المعروفة. وعمومًا، يمكن تقسيم الجسيمات الأولية إلى نوعيْن رئيسيين:

الفيرميونات Fermions: وهي التي لها بَرْم كسري مقدارة $\frac{1}{2}$ أو $\frac{3}{2}$ ....، وهكذا؛ مثل الإلكترون والپروتون والنيوترون والنيوترينو. وجميعها لها البرم $\frac{1}{2}$.

والبوزونات Bosons: وهي التي لها بَرْم صحيح مقداره ٠ أو ١ أو ٢ ....، وهكذا؛ مثل ميزونات پاي (ذات البرم ٠) والفوتونات (ذات البرم ١).

تخضع الفيرميونات لتوزيعات احتمالية حسب إحصاء فيرمي ـ ديراك Fermi-Dirac statistics. وهي مختلفة عن تلك التي تخضع لها البوزونات التي تسمى إحصاء بوز ـ آينشتاين Bose-Einstein statistics. وهذا سببه أن دالة الموجة للفيرميونات هي دالة عكسيّة التماثل Antisymmetric؛ ما يجعل من المستحيل الجمع بين فيرميونيْن لهما الحالة الكمومية نفسها. ويُسمّى هذا مبدأ پاولي للاستبعاد (أو للاستثناء) Pauli's exclusion principle. ولهذا المبدأ دوْر كبير في بنية المادة والطاقة، ومن ثم بنية الكون؛ في حين لا يوجد مثل هذا القيد على البوزونات؛ ما يسمح بجمع أي عدد منها له الحالة الكمومية نفسها. لهذا السبب، أمكن الحصول على الليزر من خلال جمع عدد كبير جدًا من الفوتونات التي لها الحالة نفسها. وأمكن أيضًا تكثيف الذرات البوزونية إلى حالة موحدة فيما يُعرف بتكثيف بوز ـ آينشتاين Bose-Einstein condensation؛ حيث تتصرّف حزمة من الجسيمات كجسم متماسك. وهذه واحدة من الظواهر التي تُبحث حاليًّا عند تخوم الفيزياء.

نظريّة الجُسيْمات الأولية

في عام ١٩٣١، كي يفسر ڤولفغانغ پاولي كيفية حفظ البرم في عملية انحلال النيوترون إلى پروتون وإلكترون، افترض وجود جسيم متعادل الشحنة عديم الكتلة؛ لكنه مع ذلك يحمل طاقة وزخْمًا، وله بَرْم قدره نصف. سمّى فيرمي هذا الجسيم النيوترينو Neutrino (تصغيراً للنيوترون). هذا الجسيم لا يتفاعل إلا نادراً مع الجسيمات الأخرى، ويمكنه اختراق الأرض من أقصاها إلى أقصاها (قطرها ١٢٠٠٠ كيلومتر) من دون أن «تُمسك» به الجسيمات الأخرى إلا نادراً.

وفي نهاية الأربعينيات، اكتُشفت مجموعة أخرى من الجسيمات الأولية في تجارب الأشعة الكونية. وسميت هذه الجسيمات الغريبة Strange particles. وانكبّ العلماء على دراستها في الخمسينيات والستينيات من القرن الماضي. ثم توالى اكتشاف العشرات من الجسيمات. وصار واضحًا أن ما كان يسمى «جسيمات أولية» في بداية القرن العشرين إن هي إلاّ جسيمات مركبة تتألف من جسيمات أخرى.

وفي الستينيات والسبعينيات، تبين أن الوحدات الأساسية لبناء الجسيمات الأولية هي جسيمات أخرى سميت الكواركات Quarks، تحمل أجزاء من شحنة الإلكترون (التي كان يُظن أنها لا تنقسم). ووجدت ثلاثة أنواع من الكواركات هي: الكوارك العلوي Up-Quark، والكوارك السفلي Down-Quark، والكوارك الأعلى Top-Quark. وفي نهاية الستينيات، تبلورت أسس النظرية العامة للجسيمات الأولية فيما سُمي النموذج القياسي (أو المعياري) Standard model، على يَدي كلّ من محمد عبد السلام (الباكستاني) وستيڤن واينبرغ وشيلدن غلاشو (الأمريكيّيْن).

يستند النموذج القياسي إلى نظريتين: الأولى هي نظرية القوى الكهْرَضعيفة Electroweak، التي وحَّدت بين القوة الكهْرَمغناطيسية والقوة النووية الضعيفة؛ والثانية هي نظرية القوة النوويّة الشديدة Strong force. وكلتا النظريتين لاتغيّريّة في الزمكان. وأساس النموذج القياسيّ هو أنَّ الجسيمات الأساسية الفاعلة في البنية الدقيقة للمادة هي الكواركات واللپتونات. وفيما عداها لا شيء آخر؛ سوى القوى الرابطة التي تحدث من خلال تبادل جسيمات رسولة Messenger particles.

نجح النموذج القياسي في تفسير بنى الجسيمات الأولية وتفاعلاتها. وتنبأ بوجود جسيمات أخرى اكتشفت فعلاً في تجارب التصادمات الجسيمية عند طاقات عالية. إلا أن هنالك جوانبَ مهمة لا يزال هذا النموذج غير قادر على الإجابة عنها؛ منها: لماذا توجد ٣ أجيال من الكواركات واللپتونات؟ كما لا يستطيع النموذج تفسير كتل الجسيمات، ولا شدة تفاعلاتها.

نظريات التوحيد Unification Theories

هل قوانين الطبيعة مستمدة من قانون واحد عام انبثقت عنه كل هذه الصور والأشكال التي في كوْننا؟ لنرَ! كان أول توحيد بين القوى الفيزيائية ذاك الذي حقّقه ماكسويل حين انتهى نظريًّا إلى أنَّ الكهربائية والمغناطيسية قوة واحدة (هي الكهْرَمغناطيسية). ثم كان التوحيد بين الزمان والمكان الذي جاء به ألبرت آينشتاين، والذي أفضى إلى علاقة مهمة هي تكافؤ الطاقة والكتلة. بعد ذلك، تمكن آينشتاين مرة أخرى من توحيد المادة والهندسة الزمكانية؛ فكانت نظرية النسبية العامة التي أفضت إلى كثير من الكشوف العلمية في الكوْنيّات. ثم كان تبصّر دي برولي حول الارتباط بين طول الموجة وزخْم الجُسيم في علاقته المشهورة.

يعتقد الفيزيائيون اليوم أنّ هنالك أربع قوى أساسية هي:

قوة الجاذبية	Gravitational
القوة الكهْرَمغناطيسية	Electromagnetic
القوة النووية الشديدة	Strong nuclear force
القوة النووية الضعيفة	Weak nuclear force

فقوة الجاذبية هي التي تشد أجزاء الكون الواسع بعضها إلى بعض. والقوة الكهْرَمغناطيسية هي التي تشد الجُزيئات بعضها إلى بعض لتؤلف المواد المركبة؛ كما تشد أجزاء الذرات بعضها إلى بعض. كذلك تشد القوى النووية بنوعيْها مكوِّنات نَوَى الذرات إلى بعضها بعضًا.

وتوحيد هذه القوى الأربع شكّل حُلمًا من أحلام الفيزيائيين للقرن الحادي والعشرين، بعد أن شهد القرن العشرون توحيد القوة الكهْرَمغناطيسية والقوة النووية الضعيفة من خلال نظرية عبد السلام - واينبرغ، التي أوجدت الصيغة الموحدة لهاتيْن القوتيْن عبر قواعد التماثلات بين القوتيْن، وبين الفوتون والجسيمات المتجهة الوسيطة الفاعلة في القوة النووية الضعيفة. وتستمر المحاولات لتوحيد القوة النووية الشديدة مع القوة الضعيفة؛ ومن ثم توحيد القوة الكهْرَمغناطيسية مع الجاذبية والقوتين النوويتيْن. إلا أن هذا الحُلم لا يزال بعيدًا، لأن الجاذبية ما زالت عصية على التكمية؛ خلافًا للقوى الأخرى التي كُمِّيت بنجاح.

إن الجانب الأعظم من تكنولوجيا القرن العشرين مَدين للتوحيد الماكسويليّ بين الكهربائية والمغناطيسية. وعسى أن يمكننا القرن الحادي والعشرون من توحيد القوى الأخرى.

فيزياء الحالة الصُّلبة Solid State Physics

شهد النصف الثاني من القرن العشرين تطورًا كبيرًا في دراسة المواد وفهم آليات تكوينها، خاصة ما يتعلق بخصائصها الكهربائية والمغناطيسية والضوئية؛ الأمر الذي فتح آفاقًا واسعة لاستخدامات جديدة لم يكن أحد يحلُم بها في بداية القرن. وكان التطور الأكبر في حقل ما يُسمّى فيزياء الحالة الصُّلبة؛ حيث كانت نظرية الكم قد وفّرت الأرضية المتينة للتعامل مع التركيب الذري والجزيئي لهذه المواد. كما وفرت التقنيات الضوئية والإلكترونية الإمكانات العملية لدراستها.

تكون الذرات والجزيئات في المواد الصلبة أكثر تقاربًا مما هي عليه في السوائل والغازات. وهذه الخصيصة تجعلها تتمتع بصفات كهربائية ومغناطيسية وحرارية وضوئية خاصة. والميزة الاستثنائية لبعض المواد الصلبة هي تكوينها البلوري؛ حيث تصطف الذرات في أوضاع هندسية محددة. مثلاً، تعمل الأواصر الأيونية Ionic bonds في بلورات ملح الطعام على تكوين البلورات؛ في حين تعمل الأواصر التساهمية Covalent bonds في بلورات الألماس على تحديد هندسة البلورة. وحين

تتجمع ذرات المواد الصلبة، فإن مستويات طاقة الإلكترونات تتخذ نمطًا حُزْميًّا Bands. وتعتمد الخصائص الكهربائية والضوئية للبلورات على مقدار عرض هذه الحُزَم وعلى الفاصل بينها. ففي المواد العازلة، تكون الفواصل الحُزميّة (التي تُسمّى الحزم الممنوعة Forbidden bands) كبيرة؛ في حين يؤدي تراكب الحزم أو تقاربها في المواد الموصلة إلى إعطاء حرية حركية كبيرة للإلكترونات، تؤدي إلى امتلاك هذه المواد صفة التوصيل الكهربائي والحراري العالي. وبين هذه المواد وتلك، تقع المواد شبه الموصلة Semiconductors، التي تكون الحزم الممنوعة فيها ضيقة؛ ما يتيح لبعض الإلكترونات ذات الطاقة العالية اختراق هذه الحزم وتحقيق موصلية معينة تحت ظروف محدّدة.

ومن الاكتشافات المثيرة هنا: تأثير إضافة كميات قليلة من مواد لافلزية، كالزرنيخ والكبريت، إلى بلورات السيليكون والكادميوم على الفاصل الحُزميّ للطاقة، بالزيادة أو النقصان. ذلك أن إنقاص الحزمة الممنوعة يؤدي إلى تكوين بلورات مانحة Donor، تسمى بلورات من النوع n، يسهل عبور الإلكترونات فيها؛ في حين يؤدي زيادة توسيع الحزمة الممنوعة إلى تكوين بلورات قابلة Acceptor، وهي التي تدعى بلورات من النوع p. ومن كلتا البلورتين، يمكن صنع ثنائي n-p يقوّم حركة التيار الكهربائي باتجاه واحد. كما يمكن صناعة ترانزستور Transistor بتركيب مقاطع من بلورات n-p-n أو p-n-p.

لقد أحدث اكتشاف المواد شبه الموصلة قفزة كبيرة في تكنولوجيا الأجهزة الإلكترونية، خاصة أنظمة معالجة الإشارة (الراديو، والتلفزيون، والرادار، والحاسوب، وكثير غيرها). وكان الأثر الذي تركه اكتشاف الترانزستور عام ١٩٦٠ على حياة المعمورة كبيرًا جدًا؛ إذ إنه أدّى إلى اختزال حجوم الأجهزة الإلكترونية الكبيرة، التي تستهلك طاقة ضخمة، إلى حجوم صغيرة جدًا؛ حتى أمكن بعد ذلك تصنيع رقائق إلكترونية تحتوي على ملايين الترانزستورات والثنائيات Diodes؛ الأمر الذي مكّن العلماء من اختزال جهاز حاسوب حجمه حجم عمارة مؤلفة من عشرة طوابق إلى علبة بحجم الكف. ثم تطوّرت تكنولوجيا تصنيع الرقائق الإلكترونية إلى

درجة كبيرة، حتى أمكن تصنيع ما يُسمى الدارات المتكاملة Integrated circuits؛ بحيث تحتوي صفيحة صغيرة من هذه الرقائق على ملايين القطع الإلكترونية. كل هذه التكنولوجيا مكّنت الإنسان من وضع أجهزة متطورة جداً في علب صغيرة تحملها الأقمار الصناعية (السواتل)؛ فمكّنت من استكشاف الفضاء وسبر غوره بشكل لم يسبق له مثيل.

علم التبريد Cryogenics

في بداية القرن العشرين، طوّر الفيزيائي أونس Onnes تقنية خاصة للحصول على درجات حرارة منخفضة جداً. واكتشف أن الزئبق يفقد مقاومته الكهربائية ويصبح فائق الموصلية Superconductor عند درجة حرارة ٤ كلفن. كما تبين أن موادَّ أخرى تُظهر هذه الخاصية نفسها عند درجات حرارة منخفضة جداً تختصّ بها. كذلك تصبح المواد المغناطيسية عوازلَ مغناطيسية عند هذه الدرجات.

وضع كل من باردين وكوبر وشريفر نظرية (BCS) تفسر حدوث الموصليّة الفائقة عند درجات حرارة منخفضة؛ وهي تقوم على فكرة توالد أزواج إلكترونيّة في الشبكة البلوريّة. وبعد ذلك بثلاثة عقود، اكتشفت إمكانية تصنيع خلائط سيراميكية لها موصلية فائقة عند درجات حرارة عالية نسبيّاً، تصل إلى حدود ١٢٥ كلفن وأكثر.

من ناحية أخرى، اكتشف أونس تحوّل الهيليوم[٤] تحت درجات الحرارة المنخفضة (حوالي ٢ كلفن) ودونها إلى مائع فائق Superfluid. وفسّرت هذه الظاهرة بحدوث تكثيف بوز-آينشتاين؛ فتلجأ ذرات الهيليوم[٤] إلى الحالة الدنيا وتتجمع فيها، وتصبح الحرارة النوعية لانهائية.

وعلى تخوم فيزياء المواد، ما زالت ظاهرة تكثيف بوز-آينشتاين تجذب الباحثين، بعد اكتشاف هذه الظاهرة في تسعينيّات القرن العشرين في عددٍ من الغازات الذريّة؛ بل إنّ العلماء تمكّنوا من «تصويرها» في إنجاز بديع.*

* حرّرت النص هنا بعناية بالغة؛ كما أضفْت إليه بعضَ العبارات. (المحرّر)

تطبيقات الموصلية الفائقة

من المعلوم أن التمكن من تصنيع مواد ذات موصليّة فائقة سيمكننا من تصنيع كبول Cables كهربائية فاعلة جداً، وأجهزة كهربائية وإلكترونية فائقة الكفاءة، بما في ذلك زيادة حساسية المجسّات والأجهزة الإلكترونية؛ ما سيُمكّننا من اكتشاف ظواهرَ جديدة في العوالمِ المجهريّة.

فيزياء البلازما Plasma Physics

البلازما هي مادة متأيّنة*، فقدت بعض إلكتروناتها التي تبقى ضمن حيّز البلازما نفسه، ويمكن السيطرة على حركة الذرّات المتأينة والإلكترونات عن طريق تسليط مجال كهربائي أو مغناطيسي. ونجد مثالاً على البلازما في مصابيح النيون العادية؛ حيث تتحرّك الذرات المتأينة جيئة وذهابًا بامتصاص الطاقة الكهربائية عبر القطبين، فتشع هذه الطاقة على شكل ضوء. كما تتوافر البلازما في النجوم والغاز بيْن النجمي والسدم.

لفيزياء البلازما تطبيقات كثيرة، منها قَطْع المعادن والفلزات وخراطتها بواسطة قوس البلازما Plasma arc machining. وتستعمل هذه عادة في معالجة المواد والفلزات والسبائك التي يصعب معالجتها بالوسائل التقليدية.

الليزر Laser

هو جهاز يعمل على تضخيم الضوء بالانبعاث المحفّز للأشعة؛ مُختصر لعبارة **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation. وجاء هذا ثمرةً من ثمار نظرية الكم. ويستند مبدأ الليزر إلى اكتشاف آينشتاين (عام ١٩١٧) أن مثل هذا الانبعاث المحفّز للأشعة يمكن أن يحدث حين تمتص الذرات طاقة من خارجها؛ ثم يتم تحفيزها لتعطي هذه الطاقة بشكل متزامن؛ الأمر الذي يولد ضوءاً متماسكًا Coherent؛ أي له الطول الموجي (أو التردد) نفسه، والطور نفسه. وهذا يَعني الحصول

* يعدّها العلماء الحالة الرابعة للمادة، بعد الغازات والسوائل والجوامد. (المحرّر)

على ضوء «نقي»؛ في حين أن الضوء المنبعث من المصادر العادية يحتوي على جميع الأطوال الموجية التي تشكّل قوس قزح.

تطبيقات الليزر

صنعت أجهزة ليزر في أوائل الستينيات من القرن العشرين، وكانت ذات طاقات منخفضة. لكن سرعان ما طُوّرت تقنيات الليزر وتطبيقاته، وأجريت بحوث هائلة لتطوير ليزرات من أنواع غازيّة وسائلة وصُلبة؛ وأنواع تصدر نبضات ضوئية قوية، وأخرى تصدر موجات متواصلة. ولأشعة الليزر تطبيقات كثيرة جداً. ففي الطب، يستعمل الليزر في الجراحة كمبضع دقيق جداً، وفي كَيّ الجروح؛ كما يستعمل في جراحة العيون ومعالجة الأسنان. وفي العلوم الهندسية، يستعمل الليزر في لحام المعادن، وقطعها. ونظراً لأن انفراج شعاع الليزر قليل جداً، فإنه يستعمل في علم المساحة لقياس المسافات. كما أن هذه الخاصية نفسها جعلته صالحًا للاستخدام في توَجيه القذائف والصواريخ. كذلك، يستخدم الليزر بشكل واسع في الطباعة، وتوجد طابعات (راقنات) ليزرية ذات كفاءة عالية جداً. وتستخدم أشعّة الليزر في الاتصالات التي تعتمد على الألياف الضوئية في نقلها؛ وهذا كله بفضل نقاء هذه الأشعة وإمكانية تشفيرها بالطريقة التي نريدها. كما يستخدم الليزر في تنشيط التفاعلات الكيميائية. وقد مكنت تقنيات التصوير بالليزر الكيميائيين من تصوير التفاعلات، ومعرفة تفصيلاتها خلال جزء ضئيل جداً من الثانية الواحدة. والحق أن استخدامات الليزر اليوم أوسع من أن نحصيها.

الخلاصة

يمكن القول إن القرن العشرين كان فاتحة لفيزياء جديدة. وقد شهد انقلابات كبيرة في المفاهيم والمنهجيّات، واكتشافات كثيرة غيّرت الأطر النظرية، وطوّرت تكنولوجيات جديدة أحدثت تحولات نوعية وكمية هائلة في البنى الاقتصادية والسياسية والاجتماعية للمعمورة.

وعلى الرغم من التطور المادي والتكنولوجي السريع الذي شهده القرن العشرون، فإن الملاحَظ أن التقدم الحضاري العام ما زال بطيئًا جداً. وربما يعزى ذلك إلى الهوة الكبيرة بين القيم الإنسانية والمعارف العلمية. وربما يعزى أيضًا إلى أن كثيراً من التطورات العلمية والتكنولوجية قد حرّكتها مطالب المنفعة المادية الضيقة؛ فضلاً عن ضعف العَلاقة بين العلوم والتكنولوجيا والعلوم الإنسانية.

ولا بد من أن نشير أخيراً إلى أن النظريات التي وضعت في بداية القرن العشرين أصبحت اليوم تواجه معضلات جديدة، تتمثل بعدم استطاعتها منفردة تفسير بعض الظواهر المتداخلة التي تحصل عند الحدود الدقيقة للزمان والمكان؛ ما يتطلب توحيدها في نظرية واحدة، ربما تكون جديدة إلى الحد الذي تطيح معه بجملة من المفاهيم والتصورات التي كانت قد أرسيت قواعدها في أوائل القرن.

هذا ما أوحت به حركة الفيزياء في أواخر القرن العشرين. وعسى أن تحل مرحلة جديدة في تاريخ المعرفة الفيزيائية خلال القرن الحادي والعشرين. فإن أمام البشرية مهمات كبيرة.

ماذا ينتظرنا في القرن الحادي والعشرين؟

* توظيف توحيد الزمكان والمادة في تكنولوجيات جديدة.

* توحيد القوى النووية الشديدة والكهْرَضعيفة.

* استثمار خاصية التماسك Coherence لتحقيق طفرات كبيرة في تكنولوجيا المادة والطاقة.

* حل مشكلات نظرية الانفجار العظيم في علم الكونيّات لتحقيق فهم أصح لبنية الكون.

حصاد جوائز نوبل للقرن العشرين

حصل على جائزة نوبل في الفيزياء منذ عام ١٩٠٠ ولغاية عام ٢٠٠٠ (١٦٢) باحثًا من دول مختلفة متعدّدة تصدرتها الولايات المتحدة الأمريكية، ثم بريطانيا، فألمانيا. وفيما يأتي أسماء الحاصلين على الجائزة، وعناوين أعمالهم التي حازوا بها الجائزة:

١٩٠١ : كونراد وليم رونتغن (١٨٤٥ ـ ١٩٢٣) ، **لاكتشافه الأشعة السينيّة (أشعة X)**.

١٩٠٢ : ١ . هندريك أنطون لورنتـز (١٨٥٣ ـ ١٩٢٨)؛ ٢ . پيـتـر زيمان (١٨٦٥ ـ ١٩٤٣)، **لدراساتهما حول تأثير المغناطيسية على الإشعاع**.

١٩٠٣ : ١ . أنطون هنري بيكرل (١٨٥٢ـ ١٩٠٨)، **لاكتشافه النشاط الإشعاعي للعناصر**؛ ٢ . پيير كوري (١٨٥٩ـ١٩٠٦)؛ ٣ . ماري سكلودو ڤسكا ـ كوري (١٨٦٧ـ ١٩٣٤)، **لدراساتهما في ظاهرة النشاط الإشعاعيّ**.

١٩٠٤ : [لورد] رايلي (جون وليم سترات) (١٨٤٢ـ ١٩١٩)، **لدراساته في كثافات الغازات، واكتشافه غاز الأرغون**.

١٩٠٥ : فيليپ إدوارد أنطون فون لينارد (١٨٦٢ـ ١٩٤٧)، **لدراساته حول الأشعة المهبطيّة (الكاثودية)**.

١٩٠٦ : [سير] جوزيف جورج ثمسون (١٨٥٦ـ ١٩٤٠)، **لدراساته حول التوصيل الكهربائي عبْر أنابيب تفريغ الغازات، واكتشاف الإلكترون**.

١٩٠٧ : ألبرت أبراهام ميكلصن (١٨٥٢ـ ١٩٣١)، **لاختراعه أجهزة ضوئية، وقياس سرعة الضوء**.

١٩٠٨ : غابرييل ليپمان (١٨٤٥ـ ١٩٢١)، **لتطبيقه تقنيات التداخل لإنتاج أول لوح فوتوغرافيّ ملوّن**.

١٩٠٩ : غويليلمو ماركوني (١٨٧٤ـ ١٩٣٧)؛ ٢ . كارل فرديناند براون (١٨٢٠ ـ ١٩١٨)، **لاختراعهما الاتصالات اللاسلكية**.

١٩١٠ : يوهان ديدريك ڤان در ڤالز (١٨٣٧ـ ١٩٢٣)، **لدراساته حول معادلات الحالة للغازات والسوائل**.

١٩١١ : وليم ڤين (١٨٦٤ـ ١٩٢٨)، **لاكتشافه قانون إشعاع الجسم الأسود**.

١٩١٢ : نلز غوستاف دالين (١٨٦٩ـ ١٩٣٧)، **لاختراعه مُنظِّمات الغازات لآليّات الإضاءة في المنارات والعوّامات لإرشاد السفن**.

١٩١٣ : هايكه كامرلينغ أونس (١٨٥٣ـ ١٩٢٦)، **لإسالته الهيليوم[٤]، واكتشافه ظاهرة الموصلية الفائقة**.

١٩١٤ : ماكس فون لاوي (١٨٧٩ـ ١٩٦٠)، **لدراساته لحيود الأشعة السينية عند مرورها بالبلورات .**

١٩١٥ : ١ . [سير] وليم هنري براغ (١٨٦٢ ـ ١٩٤٢)؛ ٢ . ابنه [سير] وليم لورنس براغ (١٨٩٠ ـ ١٩٧١)، **لجهودهما في دراسة بنى البلورات باستخدام الأشعة السينية .**

١٩١٦ : حُجبت الجائزة .

١٩١٧ : تشارلز غلوڤر باركلا (١٨٧٧ـ ١٩٤٤)، **لدراساته للذرّات عن طريق انبعاثات الأشعة السينية .**

١٩١٨ : ماكس كارل پلانك (١٨٥٨ـ١٩٤٧)، **لاكتشافه تكمية الطاقة .**

١٩١٩ : يوهان ستارك (١٨٧٤ـ ١٩٥٧)، **لاكتشافه تأثير ستارك؛ أي انفصال خطوط الطيف في المجال الكهربائيّ .**

١٩٢٠ : تشارلز إدوارد غويلوم (١٨٦١ـ١٩٣٨)، **لتطويره مركّب إنڤار Invar؛ وهو سبيكة من النيكل والفولاذ بمعامل تمدّد صغير جداً .**

١٩٢١ : ألبرت آينشتاين (١٨٧٩ـ ١٩٥٥) ، **لمساهماته في الفيزياء النظرية؛ خصوصاً تفسيره التأثير الكهرَضوئيّ .**

١٩٢٢ : نيلز هنريك ديڤيد بور (١٨٨٥ـ ١٩٦٢)، **لنموذجه الذرّيّ، وتفسيره للانبعاثات الطيفية الصادرة عن الذرّات .**

١٩٢٣ : روبرت أندروز ميليكان (١٨٦٨ـ ١٩٥٣)، **لقياسه شِحنة الإلكترون، والتأثير الكهرَضوئيّ .**

١٩٢٤ : كارل مان غيورغ سيغبان (١٨٨٦ ـ ١٩٧٨)، **لبحوثه في مطيافيّة الأشعة السينيّة .**

١٩٢٥ : ١ . جيمس فرانك (١٨٨٢ـ ١٩٦٤)؛ ٢ . غوستاف هيرتز (١٨٨٧ـ ١٩٧٥)، **لاكتشافهما تأثير فرانك ـ هيرتز لتصادمات الإلكترونات مع الذرّات .**

١٩٢٦ : جان باپتيست پرين (١٨٧٠ ـ ١٩٤٢)، **لدراساته للبنية غير المتصلة (أي الذرّية) للمادّة .**

١٩٢٧ : ١ . آرثر هولي كومپتون (١٨٩٢ـ ١٩٦٢)، **لاكتشافه تأثير كومپتون لاستطارة الأشعة السينيّة بالإلكترونات**؛ ٢ . تشارلز ثمسون ريز ولسن (١٨٦٩ـ ١٩٥٩)، **لاكتشافه طريقة تجعل مسارات الجسيمات المشحونة كهربائياً مرئيّة بتكاثف البخار (مبدأ الحجرة السحابيّة لكشف الجُسيْمات).**

١٩٢٨ : [سير] أوين ولانز رتشاردسن (١٨٧٩ـ ١٩٥٩)، **لدراساته في الظاهرة الحرارية الأيونية، واكتشافه قانونها.**

١٩٢٩ : [الأمير] لوي دي برولي (١٨٩٢ـ ١٩٨٧)، **لاكتشافه الطبيعة الموجيّة للإلكترون.**

١٩٣٠ : [سير] تشاندرا سيكارا ڤنكاتا رامان (١٨٨٨ـ ١٩٧٠)، **لبحوثه في استطارة الضوء بالجُزيئات، واكتشافه تأثير رامان.**

١٩٣١ : حُجبت الجائزة.

١٩٣٢ : ڤيرنر هايزنبرغ (١٩٠١ـ ١٩٧٦)، **لتطويره ميكانيكا الكمّ.**

١٩٣٣ : ١ . إيرڤن شرودنغر (١٨٨٧ـ ١٩٦١)، **لتطويره الميكانيكا الموجيّة**؛ ٢ . پول إدريانَ موريس ديراك (١٩٠٢ـ ١٩٨٤)، **لتطويره ميكانيكا الكمّ النسبويّة.**

١٩٣٤ : حُجبت الجائزة.

١٩٣٥ : [سير] جيمس تشادويك (١٨٩١ـ ١٩٧٩)، **لاكتشافه النيوترون.**

١٩٣٦ : ١ . ڤيكتور فرانز هس (١٨٨٣ـ ١٩٦٤)، **لاكتشافه الأشعة الكونية**؛ ٢ . كارل ديڤيد أندرسن (١٩٠٥ ـ ١٩٩١)، **لاكتشافه البوزيترون.**

١٩٣٧ : ١ . كلينتون جوزيف داڤيسُن (١٨٨١ ـ ١٩٥٨)؛ ٢ . [سير] جورج پاجيت ثمسون (١٨٩٢ـ ١٩٧٥)، **لاكتشافهما حيود الإلكترونات بواسطة البلورات.**

١٩٣٨ : إنريكو فيرمي (١٩٠١ـ ١٩٥٤)، **لاكتشافه ظاهرة النشاط الإشعاعيّ الاصطناعيّ الناجمة عن النيوترونات البطيئة.**

١٩٣٩ : إرنست أورلاندو لورنس (١٩٠١ـ ١٩٥٨)، **لاختراعه السايكلوترون وتطبيقاته.**

١٩٤٠ : حُجبت الجائزة .

١٩٤١ : حُجبت الجائزة .

١٩٤٢ : حُجبت الجائزة .

١٩٤٣ : أوتو شتيرن (١٨٨٨ـ ١٩٦٨)، **لتطويره تقنيّات الحُزمة الشعاعية الجُزيئية، واستعمالها لاكتشاف العزم المغناطيسي للپروتون .**

١٩٤٤ : إسيدور اسحق رابي (١٨٩٨ـ ١٩٨٨)، **لاكتشافه الرنين المغناطيسي النووي في الحُزم الشعاعية الذريّة والجُزيئيّة .**

١٩٤٥ : ڤولفغانغ پاولي (١٩٠٠ـ ١٩٥٨)، **لاكتشافه مبدأ الاستبعاد (الاستثناء) المعروف باسمه .**

١٩٤٦ : پيرسي وليامز بريدجمان (١٨٨٢ـ ١٩٦١)، **لمساهماته في فيزياء الضغوط العالية .**

١٩٤٧ : [سير] إدوارد أپلتن (١٨٩٢ـ ١٩٦٥)، **لدراساته في طبقات الجو العليا، واكتشافه الطبقة المعروفة باسمه .**

١٩٤٨ : [لورد] پاتريك ماينارد ستيوارت بلاكت (١٨٩٧ـ ١٩٧٤)، **لتطويره حجرة ولسن السحابية، واكتشافاته بواسطتها في الفيزياء النووية وفيزياء الأشعة الكونية .**

١٩٤٩ : هايديكي يوكاوا (١٩٠٧ـ ١٩٨١)، **لتنبؤه بوجود الميزونات .**

١٩٥٠ : سيسل فرانك پاول (١٩٠٣ـ ١٩٦٩)، **لتطويره تقنيات فوتوغرافية لدراسة نَوَى الذرّات، وتطبيقاتها في دراسة الميزونات والأشعة الكونية .**

١٩٥١ : ١ . [سير] جون دوغلاس كوكروفت (١٨٩٧ـ ١٩٦٧)؛ ٢ . **إرنست ثوماس سنْتن والتن (١٩٠٣ ـ ١٩٩٥)، لأعمالهما الريادية في تحويل نَوَى الذرّات، وتَخليق العناصر بالجُسَيْمات المُسرَّعة .**

١٩٥٢ : ١ . فيلكس بلوخ (١٩٠٥ـ ١٩٨٣)؛ ٢ . إدوارد ميلز پيرسل (١٩١٢ـ ١٩٩٧)، **لاكتشافاتهما للرنينات المغناطيسيّة النووية في السوائل والغازات .**

١٩٥٣ : فرتز زيرنكه (١٨٨٨ـ ١٩٦٦)، **لاختراعه مِجهر التباين الطوري .**

١٩٥٤ : ١ . مـاكس بورن (١٨٨٢ـ ١٩٧٠)، **لتفسيره الإحصائي لميكانيكا الكمّ**؛ ٢ . ڤالتر بوثه (١٨٩١ـ ١٩٥٧)، **لإبداعه طريقة التصادف لدراسة الأشعة الكونية**.

١٩٥٥ : ١ . ويليس يوجين لامب (١٩١٣ـ ١٩٩٣)، **لاكتشافه التركيب الدقيق لطيْف الهيدروجين**؛ ٢ . پوليكارپ كوش (١٩١١ ـ ١٩٩٣)، **لقياسه الدقيق للعزم المغناطيسي للإلكترون**.

١٩٥٦ : وليام شوكلي (١٩١٠ـ ١٩٨٩)؛ ٢ . جون باردين (١٩٠٨ـ ١٩٩١)؛ ٣ . والتر هاوزر براتين (١٩٠٢ـ ١٩٨٧)، **لاختراعهم الترانزستور وتطويره**.

١٩٥٧ : تشن ننغ يانغ (١٩٢٢ـ)؛ ٢ . تسونغ داو لي (١٩٢٦ـ)، **لتنبؤهما بأنّ التماثل المكانيّ لا يُحفظ في اضمحلال بيتا**.

١٩٥٨ : ١ . پاڤل ألكسييڤتش تشرنكوف (١٩٠٤ـ١٩٩٠)، **لاكتشافه إشعاع تشرنكوف**؛ ٢ . إليا ميخايلوڤتش فرانك (١٩٠٨ـ ١٩٩٠)؛ ٣ . إيغور تام (١٨٨٥ـ ١٩٧١)، **لتفسيرهم إشعاع تشرنكوف**.

١٩٥٩ : ١ . إيميلو جينو سيغريه (١٩٠٥ ـ ١٩٨٩)؛ ٢ . أوين تشيمبرلين (١٩٢٠ـ ٢٠٠٦)، **لاكتشافهما ضَديد البروتون**.

١٩٦٠ : دونالد آرثر غليسر (١٩٢٦ـ)، **لاختراعه حجرة الفقّاعات**.

١٩٦١ : ١ . روبرت هوفستدر (١٩١٠ـ ١٩٩٠)، **لاكتشافه البنية الداخلية للپروتون والنيوترون**؛ ٢ . رودولف لودڤيغ موسباور (١٩٢٩ـ)، **لاكتشافه تأثير موسباور**.

١٩٦٢ : ليف داڤيدوڤيتش لانداو (١٩٠٨ـ ١٩٦٨)، **لبحوثه النظرية الريادية في المواد المكثفة؛ خصوصاً سائل الهيليوم[٤]**.

١٩٦٣ : ١ . يوجين پول ڤغنر (١٩٠٢ـ ١٩٩٥)، **لبحوثه في نظرية التماثلات في الجسيمات الأولية، ونظرية الزمر**؛ ٢ . ماريا غيوپرت ـ ماير (١٩٠٦ـ ١٩٧٢)؛ ٣ . ج . هانز ينسن (١٩٠٦ـ ١٩٧٣)، **لدراساتهما في نموذج القشرة النوويّة**.

١٩٦٤ : تشارلز هارد تاونس (١٩١٥ـ) ؛ ٢. نيكولاي غنديفتش باسوف (١٩٢٢ـ ٢٠٠١)؛ ٣. ألكسندر ميخايلوفتش بروخوروف (١٩١٦ـ ٢٠٠٢)، **لتطويرهم الليزر والميزر.**

١٩٦٥ : ١. سن-إثيرو توموناغا (١٩٠٦ - ١٩٧٩)؛ ٢. جوليان سيمور شوينغر (١٩١٨ - ١٩٩٤)؛ ٣. ريتشارد فيليبس فاينمان (١٩١٨ـ ١٩٨٨)، **لتطويرهم نظرية الديناميكا الكهربائيّة الكموميّة.**

١٩٦٦ : ألفريد كاستلر (١٩٠٢ـ ١٩٨٤)، **لاكتشافه طرقاً ضوئية لدراسة الرنين الهيرتزي في الذرّات، وتطوير هذه الطرق.**

١٩٦٧ : هانز ألبرخت بيته (١٩٠٦ـ ٢٠٠٥)، **لبحوثه في نظرية التفاعلات النووية، المتعلقة بمصدر الطاقة في النجوم.**

١٩٦٨ : لوي والتر ألفارز (١٩١١ـ ١٩٨٨)، **لاكتشافه الكثير من الرنينات النووية.**

١٩٦٩ : مُوري غلمان (١٩٢٩ـ)، **لمساهماته في تصنيفات الجسيمات الأولية.**

١٩٧٠ : هانس أولوف غوستا ألفين: (١٩٠٨ـ ١٩٩٥)، **لتطويره نظرية الهيدروديناميكا المغناطيسية، وتطبيقاتها في البلازما**؛ ٢. لويس يوجين فيليكس نيل (١٩٠٤ـ ٢٠٠٠)، **لاكتشافه الفرومغناطيسيّة وضديدها.**

١٩٧١ : دنيس غابور (١٩٠٠ـ ١٩٧٩)، **لاختراعه الطريقة الهولوغرافية وتطويرها.**

١٩٧٢ : ١. جون باردين (١٩٠٨ـ ١٩٩١)؛ ٢. ليون كوبر (١٩٣٠ـ)؛ ٣. جون روبرت شريفر (١٩٣١ـ)، **لنظريتهم في الموصلية الفائقة.**

١٩٧٣ : ١. ليو إيساكي (١٩٢٥ ـ)، **لاكتشافه ظاهرة «النفقية» في شبه الموصلات؛**
٢. أيفار غايفر (١٩٢٩ـ)، **لاكتشافه هذه الظاهرة في الموصلات الفائقة؛**
٣. براين ديفيد جوزيفسن (١٩٤٠ـ)، **لتنبؤه بهذه الظاهرة للأزواج الإلكترونية في الموصلات الفائقة (تأثير جوزيفسن).**

١٩٧٤ : ١. أنطوني هيويش (١٩٢٤ـ)، **لاكتشافه النوابض (البلسارات)**؛ ٢. [سير] مارتن رايل (١٩١٨ـ ١٩٨٤)، **لمساهماته في علم الفلك الراديويّ.**

١٩٧٥ : ١ . أوغه نيلز بور (١٩٢٢ـ٢٠٠٩)؛ ٢ . بن روي موتلصن (١٩٢٦ ـ)؛ ٣ . ليو جيمس رين ووتر (١٩١٧ـ١٩٨٦)، **لتطويرهم النموذج الجمعيّ لنَواة الذرّة .**

١٩٧٦ : ١ . بيرتون ريختر (١٩٣١ ـ)؛ ٢ . صموئيل تشاو شونغ تِنغ (١٩٣٦ـ)، **لاكتشافهما الجُسيْم الأولّيّ (پساي أو J) .**

١٩٧٧ : ١ . ڤيليپ وارن أندرسن (١٩٢٣ـ)؛ ٢ . [سير] نيڤيل فرانسيس مُت (١٩٠٥ـ١٩٩٦)؛ ٣ . جون هاسبروك ڤان ڤليك (١٨٩٩ ـ ١٩٨٠)، **لمساهماتهم في النظريّة الكموميّة للأجسام الصُّلبة .**

١٩٧٨ : ١ . أرنو پنزياس (١٩٣٣ـ)؛ ٢ . روبرت و . ولسن (١٩٣٦ـ)، **لاكتشافهما إشعاع الخلفية الكونيّة الميكرويّ**؛ ٣ . پيوتر ليونيدوڤتش كاپيتزا (١٨٩٤ ـ ١٩٨٤)، **لمساهماته في فيزياء الحرارة المنخفضة .**

١٩٧٩ : ١ . شيلدون لي غلاشو (١٩٣٢ـ)؛ ٢ . محمّد عبد السلام (١٩٢٦ـ١٩٩٦)؛ ٣ . ستيڤن واينبرغ (١٩٣٣ ـ)، **لنظريتهم في توحيد القوة الكهرَمغناطيسية مع القوة [النوويّة] الضعيفة .**

١٩٨٠ : جيمس وارن كرونن (١٩٣١ـ)؛ ٢ . ڤال لوغسدُن فيتش (١٩٢٣ ـ)، **لاكتشافهما خَرْق مبادئ تماثل أساسيّة في اضمحلال ميزون K (المتعادل) .**

١٩٨١ : ١ . نيكولاس بلومبرغن (١٩٢٠ ـ)؛ ٢ . آرثر ل . شولو (١٩٢١ـ١٩٩٩)، **لمساهماتهما في مطيافيّة الليزر**؛ ٣ . كاي مان ب . سيغبان (١٩١٨ـ٢٠٠٧)، **لتطويره المطيافيّة الإلكترونية العالية المَيْز .**

١٩٨٢ : كينيث غ . ولسن (١٩٣٦ـ)، **لنظريّاته في تحوّلات الطور لدراسة الظواهر الحرجة .**

١٩٨٣ : ١ . وليم ألفرد فاولر (١٩١١ـ١٩٩٥)، **لدراساته النظرية في تخليق العناصر الكيمائيّة في الكون**؛ ٢ . سوبرا مانيان شاندراسيكار (١٩١٠ـ١٩٩٥)، **لدراساته النظرية في نشوء النجوم وتطوّرها .**

١٩٨٤ : ١ . كارلو روبيا (١٩٣٤ـ)؛ ٢ . سيمون ڤان در مير (١٩٢٥ـ٢٠١١)، **لاكتشافهما جُسيْمات W وZ .**

١٩٨٥ : كلاوس فون كلتزينغ (١٩٤٣ـ)، **لاكتشافه تأثير هول الكموميّ.**

١٩٨٦ : ١ . إرنست روسكا (١٩٠٦ـ١٩٨٨)، **لاختراعه المجهر الإلكترونيّ؛** ٢ . غيرد بينيغ (١٩٤٧ـ)؛ ٣ . هنريش روهرر (١٩٣٣ ـ)، **لاختراعهما المجهر الإلكترونيّ الماسح النفقيّ .**

١٩٨٧ : ١ . كارل ألكس مولر (١٩٢٧ ـ)؛ ٢ . جورج بدنورز (١٩٥٠ ـ)، **لاكتشافهما الموصليّة الفائقة عند درجات الحرارة العالية .**

١٩٨٨ : ١ . ليون ليدرمان (١٩٢٢ـ)؛ ٢ . ملفن تشفارتز (١٩٣٢ـ٢٠٠٦)؛ ٣ . جاك شتاينبرغر (١٩٢١ ـ)، **لاستعمالهم حُزمة نيوترينات لأوّل مرة في دراسة القوة النووية الضعيفة .**

١٩٨٩ : ١ . نورمان رامزي (١٩١٥ ـ)، **لتطويره ساعة السيزيوم وتقنيّات لدراسة البنية الذريّة ؛** ٢ . هانز دهملت (١٩٢٢ـ)؛ ٣ . ڤولفغانغ پاول (١٩١٣ـ ١٩٩٣)، **لتطويرهما طريقةَ مصيدة الأيونات لفصل الجسيمات المشحونة .**

١٩٩٠ : ١ . جيروم فريدمان (١٩٣٠ ـ)؛ ٢ . هنري كندال (١٩٢٦ـ١٩٩٩)؛ ٣ . ريتشارد تيلور (١٩٢٩ـ)، **لدراساتهم الرائدة للتصادمات اللّامرنة العميقة للإلكترونات مع البروتونات والنيوترونات المقيّدة؛ الأمر الذي كان له أثر جوهري في تطوير نموذج الكواركات .**

١٩٩١ : بيير ـ جيلز دي جين (١٩٣٢ ـ ٢٠٠٧)، **لدراساته في الأنظمة المعقّدة؛ خصوصاً البلورات السائلة والبوليمرات .**

١٩٩٢ : جورج تشارپاك (١٩٢٤ ـ ٢٠١٠)، **لاختراعه الكواشف الإلكترونية السريعة للجُسيمات العالية الطاقة .**

١٩٩٣ : ١ . رسل أ. هولس (١٩٥٠ ـ)؛ ٢ . جوزيف هـ. تيلور (١٩٤١ـ)، **لاكتشافهما نوعاً جديداً من النوابض (الپلسارات)؛ ما فتح إمكانات جديدة لدراسة الجاذبية .**

١٩٩٤ : ١ . برترام بروكهاوس (١٩١٨ ـ ٢٠٠٣)، **لتطويره المطيافيّة النيوترونيّة ؛** ٢ . كلفورد تشول (١٩١٥ـ ٢٠٠١)، **لتطويره تقنية الحيود النيوتروني .**

١٩٩٥ : ١ . مارتن پيرل (١٩٢٧ـ)، **لاكتشافه (لپتون التاو)**؛ ٢ . فريدريك راينز (١٩١٨ـ١٩٩٨)، **لكشفه النيوترينو** .

١٩٩٦ : ١ . ديڤيد لي (١٩٣١ـ)؛ ٢ . دوغلاس أوشروف (١٩٤٥ ـ)؛ ٣ . روبرت ريتشاردسُن (١٩٣٧ـ)، **لاكتشافهم الميوعة الفائقة في سائل الهيليوم**[٣] .

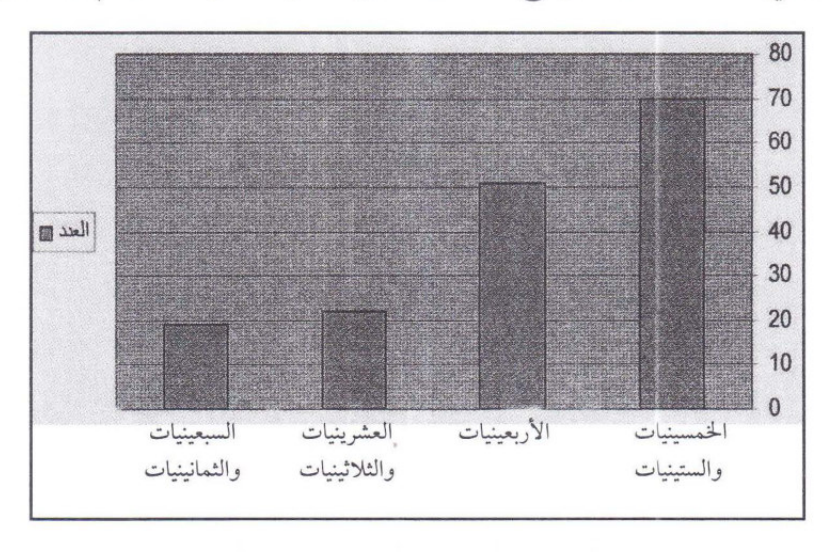
١٩٩٧ : ١ . ستيڤن تشو (١٩٤٨ ـ)؛ ٢ . كلود كوهين ـ تانوجي (١٩٣٣ـ)؛ ٣ . وليام د . فيلپس (١٩٤٨ـ)، **لإبداعهم طريقة لحصر الذرات [في «مصيدة»] بالليزر، وتبريدها** .

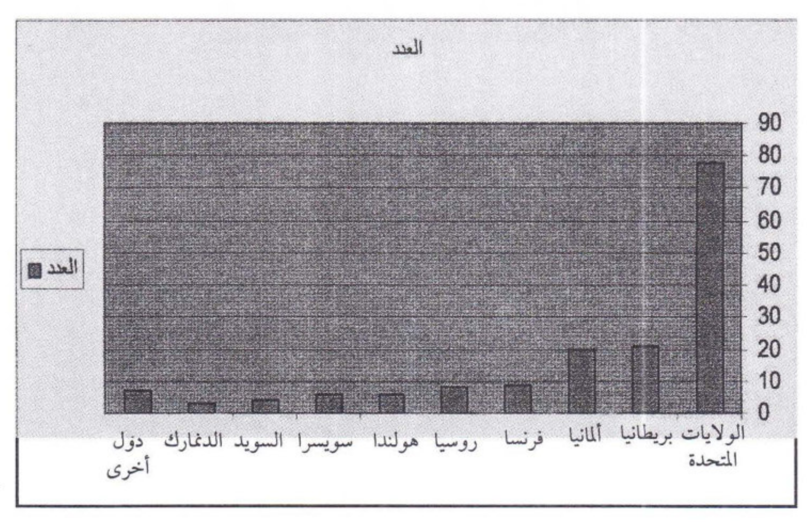
١٩٩٨ : ١ . روبرت ب . لَفلن (١٩٥٠ـ)؛ ٢ . هورست ل . ستورمر (١٩٤٩ـ)؛ ٣ . دانييل تسوي (١٩٣٩ـ)، **لاكتشافهم نوعاً جديداً من المائع الكموميّ باستثارات ذات شحنات كسْريّة** .

١٩٩٩ : ١ . جيراردوس تهُوفت (١٩٤٦ـ)؛ ٢ . مارتينوس ڤلتمان (١٩٣١ ـ)، **لتوضيحهما البنية الكموميّة للتفاعلات الكهْرَضعيفة في الفيزياء** .

٢٠٠٠ : ١ . زُورِز ألفروف (١٩٣٠ـ)؛ ٢ . هربرت كرومر (١٩٢٨ ـ)، **لتطويرهما تراكيبَ هَجينية شبه موصلة تستعمل في الإلكترونيات السريعة جداً والإلكترونيات الضوئيّة** ؛ ٣ . جاك س . كِلْبي (١٩٢٣ـ٢٠٠٥)، **لدوره في اختراع الدارة المتكاملة** .

وفيما يأتي مخططات لبيان توزيع الحاصلين على الجائزة حسب أعمارهم وبلدانهم:







الفصل الثالث

التكنولوجيا

أ. د. منير نايفة



التّكنولوجيا

الأستاذ الدّكتور منير نايفة

ترجمة: الأستاذ الدّكتور وهيب النّاصر

والمهندس حيدر المومني

تمهيد

يتميز القرن العشرون بحقيقة تتمثل في أنّ العلم والتكنولوجيا باتا مرتبطين ارتباطًا وثيقًا يصعب معه الفصل بينهما. وفي بعض الحالات، يغدو من العسير التمييز بين الإثنين، خاصّة عند الحديث عن علم النّانو وتكنولوجيا النّانو اللذين برزا في أواخر القرن. وقد شهد القرن العشرون عدداً من الابتكارات التكنولوجية ذات الأهميّة البالغة في مجالات الغذاء، والصحة، والنقل، وتكنولوجيا المعلومات، والحوسبة، والطاقة، والموادّ المتقدّمة، وتكنولوجيا النّانو، على سبيل المثال لا الحصر. والجدير بالذّكر أنّ الثورة العلمية وفّرت البيئة المناسبة للثورة الصناعيّة. غير أنّ الأخيرة رفعت توقعات المجتمع، متسبّبةً في نشوء طلب مُتَنام على التقنيات التي من شأنها أن تحسّن من نوعيّة حياة الناس؛ علاوةً على التقنيات الكماليّة. ففي عام ١٩٠٠، كان متوسط العمر المتوقع للفرد ٤٧ عامًا. إلا أن هذا الرّقم اتّخذ منحى تصاعديًا إلى أن بلغ ٧٧ سنة عام ٢٠٠٠. ولعلّ القرن العشرين جديرٌ بأن يسمى

بحق قرن نوعية الحياة. في هذه الدّراسة، سنوجز التقنيات الرئيسيّة التي ظهرت إلى حيّز الوجود خلال القرن العشرين، بما في ذلك التقنيات التي أسهمت في تحسين الموارد والبنية التحتية؛ مثل: الكهرباء والطاقة، والإنارة، والنقل. إضافة إلى ذلك، سنلخص الإنجازات التي تحققت في مجال تقنيات الخدمات؛ مثل: المعلومات، والاتصالات، والغذاء، والصحة. بعدئذ، سنعرض الموادّ الجديدة المبتكرة التي نهضت بدور جعل الكثير من التقنيات المتقدّمة ممكنًا. وفي آخر المطاف، سنلقي نظرة على المستقبل عبر التعمُّق في تكنولوجيا النّانو، التي ظهرت إلى حيز الوجود في العقد الأخير من القرن، والتي توسم بأنها ستشكل قاعدة الانطلاق للتكنولوجيا الرّاهنة إلى القرن المقبل.

تكنولوجيا الموارد

في هذا الجُزء من الدراسة، نركز على تقنيات الموارد؛ مثل: الكهرباء، والطاقة، والإنارة، والنّقل.

الكهربة والكهرباء

لقد فتح اختراع الكهرباء الباب على مصراعيه للتقدم والابتكار. وغدت الطاقة الكهربائية في مُستهل القرن العشرين القوّة المحرّكة للعالم الحديث. واليوم، تحافظ الكهرباء على المصانع عاملةً؛ هذا إضافة إلى صناعة الاتصالات، والأجهزة المنزلية، والمعدات التي تُنقذ حياة الناس في المستشفيات. وبطرق شتّى، يسهم الحصول على الكهرباء في الحفاظ على رفاه بلايين البشر في أرجاء الكرة الأرضية.

الطاقة والإنارة

تقنيات البترول والبتروكيميائيات؛ التقنيات النوويّة؛ الخلايا الضوئية الكهربائية

أصبح النفط مصدر الطاقة الأساسيّ بلا منازع في القرن العشرين. فقد شغّلت

المشتقات الناتجة عن تكرير النفط السيارات، والطائرات، والمعدّات الزراعية، والآلات الصناعية. وإضافة إلى النّفط، شهد القرن ظهور الطاقة النووية، والمحطات النووية لتوليد الكهرباء، وتكنولوجيا الخلايا الضوئية الكهربائية، التي تُحيل ضوء الشمس إلى كهرباء. وتبلغ كفاءة الخلايا التجارية ١٢ بالمئة أو أكثر. غير أنّ الكفاءة قد تصل نظريّاً إلى ٢٢ بالمئة. والبحث جار حاليّاً على قدم وساق في مجال الخلايا الضوئية الكهربائية؛ مع التركيز على تطوير تشكيلات أكثر فاعليّة، وعلى الموادّ الجديدة، والأفكار المبتكرة في تكنولوجيا النّانو، من أجل تحسين الكفاءة، وخفض الكلفة، وإطالة العمر الزمنيّ للخلايا.

يمكن القول إنّ الحاجة إلى الإنارة أسفرت عن تطوير الكثير من التقنيات. وللسنوات المئة والخمسين الماضية، اقتصرت تقنيات الإنارة في الأساس على استخدام المصابيح المتوهجة والمصابيح الفلوريّة. وفي تلك الأثناء، برزت تقنيات مشتقّة، مثل مصابيح التفريغ العالية الشدّة High Intensity Discharge Lamps. لكنّ الكفاءة لم تتجاوز ٢٥ بالمئة لأيٍّ من تلك التقنيات. وهُنا يجدر التذكير بانّ كفاءة الإنارة باستخدام المصابيح المتوهجة تقلّ عن ٢ بالمئة؛ ما يَعني أنّ ما يربو على ٩٨ بالمئة من الطاقة الكهربائية المستخدمة في الإنارة يُفقد على شكل حرارة! ومع اختراع الثنائيات التجارية الباعثة للضوء في ستينيات القرن، يتحوّل الانتباه الآن إلى الإنارة باستخدام الثنائيات الباعثة للضوء في الحالة الصلبة. وعلى العكس من الإنارة التقليدية، تستهلك الثنائيات الباعثة للضوء طاقة كهربائية أقل، وتتجنب إلى حدّ كبير النّواتج الضارّة، المصاحبة لاستخدام سابقاتها من المصابيح؛ مثل الحرارة.

النّقل

السيارات؛ الطائرات؛ المركبات الفضائية؛ الطُّرق السريعة

اختُرعت السيارة؛ فأخرجت العربات التي تجرّها الخيول من الخدمة. وفي وقت قصير، انتشرت العرباتُ والشاحنات ذات المحرّك في كل مكان. وبعد ذلك، جاء

اختراع الطائرة؛ فقد استغرقت «الرحلة الجويّة» الأولى اثنتي عشرة ثانية، وحملت رجُلاً واحداً مسافة مئة وعشرين قدمًا. واليوم، تنطلق رحلات الطيران التجارية بلا توقف، ومنها ما يستغرق خمس عشرة ساعة؛ حاملةً مئات المسافرين لمسافات تصل إلى نصف محيط الكرة الأرضية. وفي عام ١٩٥٧، أطلق الاتحاد السوفييتي السابق أوّل مركبة فضائية على الإطلاق. ومع الحاجة المتنامية لنقل البضائع والغذاء والأشخاص، انتشرت شبكات الطرق البرّية السريعة في شتى أرجاء المعمورة.

تكنولوجيا الخدمات

تكنولوجيا المعلومات؛ خدمات الصحّة والغذاء

الإلكترونيات؛ الحواسيب والحواسيب الفائقة؛ الرّادار؛ الرّاديو والتلفاز؛ الهاتف؛ الإنترنت؛ الليزر؛ الألياف الضوئيّة

في أواسط عام ١٩٤٨، قُدّم الترانزستور ـ العمود الفقريّ للإلكترونيات الحديثة ـ للجمهور. وقد عُرض للمرّة الأولى في مختبرات **بل** BELL للهاتف. إن الترانزستور الذي حلّ محلّ الصّمام الإلكترونيّ المفرغ، الذي كان يشغل حيّزاً كبيراً، أدّى إلى تثوير عالمنا اليوم بتوفير الإمكانية لتصغير أحجام الأجهزة الإلكترونية. ويُذكَر أنّ اختراع الترانزستور خلق صناعةً ببضعة بلايين من الدّولارات، كانت سببًا في إنتاج أجهزة شائعة؛ مثل: راديو الجيْب، والرّاديو المحمول، والآلة الحاسبة، والحاسوب، والتلفاز، والألعاب الإلكترونية.

لقد ظهر أول حاسوب صغير في العالم في أوائل سبعينيات القرن؛ وكان اسمه «النّسر الطائر ٨٨٠٠». وكان مُعداً لمنافسة النماذج التجارية في ذلك الوقت. وخُصّص له آنذاك غلاف إصدار كانون الثاني/ يناير ١٩٧٥ من مجلة **الإلكترونيات الشائعة** *Popular Electronics*؛ وعُرض بكامل أجزائه بسعر ٣٩٧ دولاراً. والجدير بالذكر أن ذلك الحاسوب كان بدائيّاً؛ فكانت برمجته تُنجز باستخدام عدد من مفاتيح التبديل اليدوية. أما ذاكرته المتواضعة، فلم تتعدَّ ٢٥٦ بايت من البيانات؛ كما اتخذت

مخرجاته شكل أنماط من الأضواء المتوهجة. وبالرغم من بدائيّته، فقد استهلّ ثورة بحقّ.

يرجع تاريخ الحواسيب الحديثة إلى الفترة الواقعة بين عامي ١٩٤٠ و١٩٤٥. وكان حجم أحد الحواسيب الإلكترونية المبكّرة بحجم غرفة كبيرة. أما حاسوب اليوم، فيحتلّ حيّزًا صغيراً؛ في الوقت الذي يعمل فيه بسرعة تفوق سرعة أسلافه بملايين أو حتى بلايين المرّات. وتنتشر الحواسيب الشخصية حولنا هُنا وهناك. وثمّة حواسيب مُدمجة صغيرة نجدها في معدّات مختلفة؛ مثل: الطائرات المقاتلة والروابيط [جمع رابوط] الصناعية، والمصوّرات الرّقمية، وألعاب الأطفال. وأمّا الحواسيب الفائقة، فقد أدخلت في الاستخدام في ستينيات القرن العشرين. وصُمّمت بصورة أساسية علي يدي سيمور كري Seymour Cray في مؤسسة **سي دي سي CDC**. والحاسوب الفائق حاسوب يأتي في المقدّمة من حيث سرعة الحساب. ويُعدّ الحاسوب «رود رَنَر Roadrunner» من شركة **آي بي إم IBM**، الموجود في المختبر الوطنيّ في لوس ألاموس، أسرع الحواسيب الفائقة في العالم حاليّا.

في كانون الثاني/ يناير ١٩٨٦، أطلقت **مؤسسة العلوم الوطنية NSF** في الولايات المتحدة الأمريكية برنامَجًا لمراكز الحواسيب الفائقة؛ ومولّت خمسة مراكز، يُعرف أحدها باسم **المركز الوطني لتطبيقات الحوسبة الفائقة NCSA** في جامعة إيلينوي. وهذا المركز مدعوم من كلٍّ من: مؤسّسة العلوم الوطنيّة، وحكومة ولاية إيلينوي، وجامعة إيلينوي، وشركاء صناعيّين، ووكالات اتحادية أخرى. وفي الوقت الرّاهن، يعمل المركز على تشغيل بعض الحواسيب الفائقة الأكثر فاعليّة في العالم؛ إضافة إلى تطوير البرمجيات اللازمة لاستخدام هذه الأنظمة بكفاءة. ويتبوأ موقع الصّدارة على المستوى العالميّ في نشر موارد حوسبة قوية عالية الأداء، وفي العمل مع مجتمعات البحث لتطوير تقنيات حوسبة وبرمجة جديدة. وقد اختير المركز وشركاؤه من جانب **مؤسسة العلوم الوطنية** لبناء نظام حوسبة مُستدام ونشره، أطلق عليه اسم «المياه الزّرقاء». ويُنتظر أن يكون في متناول مجتمع البحث الوطني عام ٢٠١١.

من ناحية أخرى، كان للاتصالات نصيب من التطور في القرن العشرين. فقد عُرض جهاز الراديو في نيويورك عام ١٨٩٩، بصفته نموذجًا جديدًا للاتصال يرتكز على الموجات الكهْرَمغناطيسية الرّاديوية، التي تنقل المعلومات بسرعة الضوء. أمّا الرّادار ـ نظام كشف الطائرات وتعيين مواقعها بالموجات الرّاديوية ـ فاختُرِع في بريطانيا عام ١٩٣٥. وأما الهاتف، فكان اخترعه ألكساندر غراهام بل عام ١٨٧٧. وبعد ذلك بوقت قصير، بلغت كُبول [جمع كبْل] الهاتف المساكن الخاصة والمنازل الريفيّة والمحلاّت التجاريّة والمصانع. . . إلخ. من جهة أخرى، عُرض سَلَف الإنترنت ـ الأربانت ـ بمؤتمر عُقد في فندق هيلتون/ واشنطن عام ١٩٧٢. وكان هذا عبارة عن نظام ربط حاسوبيّ. ويُذكَر أنّ تلك الشبكة طوّرت برعاية عسكريّة لمساعدة علماء الحاسوب في تبادُل المعلومات، وتمكينهم من الرّبط بين الأجهزة البعيدة عن بعضها بعضًا. وأحدث ذلك العرض ثورة، سرعان ما تحوّلت إلى نظام الربط الحاسوبيّ غير العسكريّ؛ الإنترنت.

يُعدّ الليزر والألياف الضوئية أمّ الاختراعات. وهذا ـ من دون أدنى شك ـ اختراق ملموس في الاتصالات، وفي مجموعة متنوّعة من الصناعات. فَبَدَلَ أن تنتقل الإلكترونات خلال أسلاك نحاسية أو كبول محوريّة لنقل الرسائل إلى مسافات بعيدة، يستخدم ضوء الليزر الذي ينتقل خلال ألياف زجاجية.

ويتعيّن أن تكون الألياف ذات نوعيّة ممتازة للغاية، وأنْ تكون رفيعة جدًا؛ بحيث يكون قطرها بضعة ميكرونات. أما جهاز الليزر المستخدم، فهو ليزر شبه موصل يولّد شعاعًا متّصلاً في نطاق الأشعة تحت الحمراء، ويعمل في درجة حرارة الغرفة مئات *الساعات أو آلافها دونما خطأ. وقد وجدت أجهزة الليزر تطبيقات أخرى في* الصّناعات كلّها تقريبًا. ففي التّصنيع، تُستخدم أجهزة ليزر صناعية من النوع المعروف بليزر ثاني أكسيد الكربون، تولّد أشعة تحت حمراء لقصّ المعادن ومعالجتها حراريًا، وتشذيب الرّقاقات الحاسوبية، وحفر ثقوب دقيقة في الخزف القاسي، والتسلُّل بصمت خلال النسيج، وإحداث الثقوب في حَلَمات زجاجات إرضاع الأطفال. وفي صناعة الإنشاءات، يُستفاد من أشعة الليزر الضيّقة المستقيمة في التوجيه، لضبط الأمور

في تطبيقات لا حصرَ لها، تشمل: مدّ الأنابيب، وحفر الأنفاق، وتدريج الأرض، وضبط المباني. وفي الطبّ، يُمكن لليزر أن يطلق حرارة شديدة نظيفة ومحدّدة إلى بُقَع منتقاة؛ الأمر الذي يمكّن من إجراء الكثير من التطبيقات الجراحية. فعلى سبيل المثال، تُلحم القرنيّات المنزوعة في مواضعها ثانيةً باستخدام ليزر الآرغون ذي الضوء الأخضر، الذي يمرّ بأمان خلال الجزء المركزيّ من العين؛ لكنّه يُمتَصّ من النسيج الغنيّ بالدّم في الخلف. كذلك، يُستخدم الليزر في الطب لإحداث عمليات القطع الجراحيّة؛ وفي الوقت ذاته، لكيّ الأوعية الدمويّة لتقليل النزف. كما يسمح للأطبّاء بإجراء جراحات بالغة الإتقان في الدّماغ أوالأذن الدّاخلية.

من ناحية أخرى، غزا الليزر الكثير من الأجهزة اليومية. فعلى سبيل المثال، نقرأ في الأقراص المدمجة، أو أجهزة أقراص الفيديو، المحتويات الرّقمية لقرص يدور بسرعة كبيرة عن طريق ارتداد ضوء الليزر من الاختلالات الصغيرة جداً، المطبوعة على سطح القرص. كما تعمل أجهزة تسجيل أسعار السّلع في المحلاّت التجارية بالمبدأ نفسه؛ إذ يطلق الجهاز شعاعًا ليزريًا على نمط مطبوع من الخطوط والفراغات، لاستخراج معلومات عن سعر السلعة المشتراة، ومتابعة جرد السلع. ويمكن لأجهزة الليزر النبضية أن تولّد نبضات قصيرة جداً، لا يتعدّى طول إحداها بضع فيمتوثوان، لتجمّد بصريّـًا حركات الجزيئات التي تحدث بسرعة البرق في التفاعلات الكيميائيّة؛ مثلما عَرَض حامل جائزة نوبل، العالم أحمد زويل. ومن الممكن أن تُشكّل يومًا نبضات الليزر الفائقة القوّة مقداحًا مثيرًا للاندماج النووي المتحكَّم فيه؛ تلك العمليّة النّوويّة الحرارية المنشودة طويلاً.

الغذاء والصّحّة

إمدادات المياه وتوزيعها؛ المكننة الزراعيّة؛ تكييف الهواء والتبريد؛ الأجهزة المنزلية؛ التقنيات الصحية؛ التّصوير

طُوّرت تقنيات كَلْوَرَة مصادر المياه في خواتيم القرن التاسع عشر وبدايات القرن

العشرين. وفي عام ١٩٠٨، باتت أشغال المياه في مدينة جيرسي أوّل نظام في الولايات المتحدة يمارس الكَلْوَرَة على نطاق واسع وعلى أساس دائم. وقد رُفعت سويّة وضع أنظمة التزويد بالمياه بشكل هائل، وقُلّل إلى أبعد حدّ ممكن من الأخطار التي تهدّد الصحة العامة. وتستخدم الكلورة بهدف التعقيم، الذي يقتل بدوره أو يعطل الكائنات الدقيقة الضّارّة التي قد تسبّب أمراضًا؛ مثل: التيفوئيد، والكوليرا، والتهاب الكبد، والإسهالات المعويّة. وفي بعض الأحيان، تستخدم أنظمة المياه الكلورة بهدف التحكم بالطعم والرائحة؛ وإزالة الحديد والمنغنيز؛ ووقْف النّموّات المؤذية في الآبار، وأنابيب المياه، ومرافق التخزين، والقنوات.

إنّ مكننة الزراعة وأتمتتها من الطرق المباشرة الموصلة إلى زيادة فاعلية الإنتاج وجودة المنتجات الزّراعية؛ وذلك من خلال خفض الكلفة والمتطلبات من الأيدي العاملة، مَعَ تحسين بيئة العمل. وبالرّغم من أنّ مكننة الزراعة وأتمتتها ـ بما في ذلك نظام الرّيّ ـ قد تكون شهدت بداياتها في القرن التاسع عشر، فما زال العمل فيها مستمرًا. على صعيد آخر، أصبح حفظ الغذاء والثلاجات المنزلية، أو تلك التي تستخدم في أثناء النقل أو في المستودعات الوطنية، من أهمّ نعَم الله على بني البشر.

لقد شهد القرن العشرون تشكيلة واسعة ومتنوعة من الإنجازات على صعيد التشخيص، والمواد الصيدلانيّة، والأجهزة الطبية، والأشكال الأخرى من الرّعاية الصحية. فلا عجب، إذًا، أنّه، في عام ١٩٠٠، كان متوسط العمر المتوقع للإنسان ٤٧ سنة؛ لكنه اقترب من ٧٧ سنة في عام ٢٠٠٠.

والجدير بالذكر أنّ هذه الزيادة، التي قاربت الثلاثين سنة، كانت بفعل عدد من العوامل، من بينها تلك الإنجازات الطبية؛ إضافة إلى خلق مصادر مياه آمنة. أما التصوير، فقد شهدت تقنياته صعودًا هائلاً سواء في مجال الطب أو تحليل المواد؛ وبرزت أنواع جديدة من المجاهر والمقاريب. وقد وجدنا أنفسنا في القرن العشرين ننتقل من المقراب الضوئيّ والمجهر الضوئيّ؛ إلى المجهر الضوئيّ المتقدّم الماسح للمجال القريب، والأشعة السينية، والرنين المغناطيسيّ، والموجات فوق الصوتية، والمجهر

الإلكترونيّ، ومجهر المسح النفقيّ، ومجهر القوة الذرّية. وتبلغ الأنواع المتقدّمة من هذه التقنيات من الكفاءة ما يمكّنها من رصد ذرة مفردة.

تكنولوجيا الموادّ العالية الأداء

اتّسم القرن العشرون بانفجار معرفيّ في بحوث الموادّ. وبلغت تلك البحوث أوْجَها من خلال عدد لا يُحصى من الموادّ المفيدة، غير المتوافرة في الطبيعة بصورة اعتيادية. والشواهد على تلك الثورة في علوم المواد وهندستها كثيرة؛ لعل أبرزها تلك المستخدمة في السيارات، والطائرات، والأدوات الرياضيّة، وناطحات السحاب، والملابس اليومية والواقية، والحواسيب، وعدد كبير من الأجهزة الإلكترونية.

الموادّ غير التقليدية

نذكر فيما يأتي بعض أبرز تلك المواد: الباكلايت، وموادّ التقسية، والپيركس، والفولاذ المقاوم للصدأ الذي أعيد اكتشافه، والمطاط الاصطناعيّ، والألياف الزجاجية، والپولي إثيلين، والنّايلون، والپلاستيك القويّ الشفاف، والتفلون، والسبائك الفائقة التي أساسها النيكل، والمغانط الخزفية، وتيتانات الباريوم، ومواد صُنع أوعية حفظ الطعام، والسيليكون، والزجاج المستخدم في الخزفيات المطحونة على شكل حبيبات ناعمة، والدّاكرون، والپولي إثيلين العالي الكثافة، والزّيولايت الاصطناعي، والألماس الاصطناعي، والپولي پروپيلين ذو الوزن الجزيئي العالي، والزجاج العائم، والبلورات السيليكونية المفردة الضخمة، وسبائك النيكل - التيتينيوم، والطلاءات الأكريلية، وألياف الكربون، والسبائك المعدنية غير المتبلّرة، والمبلمرات العضوية الموصلة للكهرباء، والمعادن الأرضية النّادرة، والجلد الاصطناعي، ومواد النّانو.

وتجدر الإشارة إلى أنّ عددًا من هذه الموادّ وجد استخدامات في المطابخ بشكل خاص؛ ومنها: الپيركس، والتفلون، ومواد صُنع أوعية حفظ الطعام، والفولاذ المقاوم للصدأ، والسيليكون.

عرف الإنسان كيف يصنع الفولاذ بكميات ضخمة. وها هي مصانع الفولاذ تنتج ملايين الأطنان منه كل عام، لتستخدم في الهياكل البنيويّة للجسور وناطحات السحاب، ومسارات السكك الحديدية الممتدّة على هيئة شبكات، والدّعامات واللوحات المستخدمة في هياكل السفن البخارية؛ إضافةً إلى تشكيلة واسعة من التطبيقات التي تمتدّ من عبوات الغذاء إلى إشارات المرور على الطرقات. وما زال الفولاذ العالي الأداء متفوّقًا على سواه من الموادّ؛ من حيث تعدُّد الاستخدامات، وحجم الإنتاج. وتُصنع مئات السبائك من خلال إضافة الكروم أو النيكل أو المنغنيز أو الموليبدنوم أو الفانيديوم أو المعادن الأخرى إلى القاعدة الأساسية من الفولاذ، المكوّنة من الحديد الذي تضاف إليه كمية صغيرة ـ لكن حرجة ـ من الكربون. ويكون بعض هذه السبائك بالغ القوّة أو شديد الصلابة؛ في حين يكون بعضها الآخر عديم التأثر بالصدأ تقريبًا. وفي الوقت الذي يستطيع فيه بعض هذه السبائك مقاومة اللّيّ المستمر، فإن بعضها الآخر يمتلك صفات كهربائية أو مغناطيسية مرغوبًا فيها. ومن الممكن إنتاج بنىً مجهريّة (ميكروية) متنوعة من خلال معالجة المعادن بطرق شتّى.

في سنة ١٩٠٦، سُخّنت سبيكة من الألمنيوم وكمية صغيرة من النحاس إلى درجة حرارة عالية؛ ثمّ بُرّدت بسرعة. في البداية، كان الألمنيوم أكثر ليونةً حتى من ذي قبل؛ لكنه في غضون أيّام قليلة أصبح قويًا بشكل ملموس، بفضل تشكُّل جسيمات دقيقة غنيّة بالنحاس أدت إلى تقسية السبيكة. وباتت هذه المادّة الخفيفة الوزن ذات قيمة لا تقدّر في الملاحة الجوية وتطبيقات النّقل الأخرى.

لقد عُزل التيتينيوم للمرّة الأولى عام ١٩١٠؛ لكنّ إنتاجه بكميات مهمّة لم يحدُث قبل الخمسينيات. وهو لا يتميّز بالخفّة ومقاومة التآكل حسب؛ وإنّما يمكنه أيضًا تحمّل الحرارة الشديدة. وهذه المتطلّبات أساسية لأسطح الطائرات التي تفوق سرعتها سرعة الصوت مرّات عدّة. لكن حتّى التيتينيوم لا يمكنه تحمُّل الظروف داخل توربينة محرّك نفّاث؛ حيث يمكن أن تتجاوز درجة الحرارة ٢٠٠٠° ف. لذلك، فإنّ شفرات التوربينة تُصنع من موادّ أساسها النيكل أو الكوبالت، تسمّى السبائك الفائقة، وتظلّ صامدةً في

الحرارة الشديدة وهي تدور بسرعات هائلة. ولضمان أنّ لها أكبر مقاومة ممكنة للتشوُّه بفعل الحرارة الشديدة، فإن الأنواع المتقدّمة من تلك الشفرات تُنمّى من المعدن المنصهر على شكل بلورات مفردة في قوالبَ خزفيّة.

الموادّ المؤلَّفة

لقد أُحرزت مكاسبُ كبيرة فيما يتعلق بالأداء من خلال استخدام صنف من المواد التي تُعرف بالموادّ المؤلّفة. وهُنا يُعزّز نوع واحد من الموادّ بجسيمات أو ألياف أو صفائح من مادة أخرى. ومن أوائل الموادّ المؤلّفة المهندَسة: الزّجاج الليفيّ الذي طوّر في ثلاثينيّات القرن العشرين. وتصنع هذه المادّة من ألياف زجاجية، تُغمَر في مصفوفة بوليمريّة. وقد وجدت استخدامات في بناء الألواح، وأحواض الاستحمام، وأجسام القوارب؛ إضافة إلى الكثير من المنتجات البحرية الأخرى. ومنذ ذلك الحين، استُغلّ الكثير من المعادن والبوليمرات والمواد الخزفيّة، بوصفها مصفوفات ومعزِّزات معًا. ففي ستينيات القرن العشرين، بدأ سلاح الجو في الولايات المتحدة الأمريكية البحث عن مادّة تتفوّق على الألمنيوم لصُنع بعض أجزاء الطائرات. ووُجد أنّ البورون يمتلك الخصائص المرغوب فيها من الخفّة والقوّة؛ غير أنّ تشكيله لم يكن سهلاً. وكان الحلّ في تحويله إلى ألياف يجري تمريرها خلال سلاسل من أشرطة الإيبوكسي. فحين توضع الأشرطة في قالب وتتعرّض للحرارة والضغط، يُحصل على مواد صلبة قوية خفيفة الوزن، تصلح ـ مثلاً ـ لصناعة قسم من ذيل الطائرة المقاتلة النفاثة ف-١٤. وبالرّغم من أناقة الحلّ، فقد كانت ألياف البورون ذات كلفة مرتفعة، جعلتها لا تجد استخدامات واسعة، وسلّطت الضوء على إشكالية ثنائية الكلفة والأداء التي تتحكم بتطبيقات الموادّ.

والجدير بالإشارة أنّه جرى تقوية الكثير من الموادّ المؤلّفة باستخدام ألياف الغرافيت. فقد كانت تُغمر في مصفوفة من الغرافيت لإنتاج مادّة عالية المقاومة للحرارة، تصنع منها ـ على سبيل المثال ـ بطانات مكابح الطائرات. وعند استخدام مصفوفة من الإيبوكسي، تُوظّف المادة الناتجة في صنع مقابض مضارب الغولف، أو هياكل

مضارب التنس الأرضيّ. وثمّة موادّ مولّفة أخرى يكثر استخدامها في عالَم الرّياضة. فمثلاً، يمكن تعزيز أحذية التزلج بألياف من الكفلار. كما تُصنع المقابض اليدوية لبعض درّاجات السباق الهوائية الخفيفة الوزن منَ الألمنيوم المسلَّح بجسيمات أكسيد الألمنيوم. وتجد المواد المولّفة من مصفوفات الخزف استخدامات في بيئات غير وديّة متنوعة، تتراوح من الفضاء الخارجيّ إلى داخل محرّك السيارة.

الموادّ المطعَّمة: التحكُّم بالتوليف

يرجع كثيرٌ من النّجاحات المرتبطة بالابتكارات في مجال الموادّ إلى دقة التحكم بها من الخارج. وهذه هي الحال في عالم الإلكترونيّات المدهش، القائم على توليفات من المعادن وأشباه الموصلات والأكاسيد بأبعاد هندسية صغيرة جدًا. ومن الأمثلة على ذلك: رقاقات الحواسيب أو أجهزة عرض الأقراص المدمجة بحجم إظفر الإصبع، وأجهزة الليزر الدقيقة والألياف الضوئية التي تشبه الخيوط في شبكات الاتّصالات، والجسيمات المغناطيسية المنتشرة على الأقراص والأسطح الأخرى لتسجيل البيانات الرّقمية. على سبيل المثال، تبدأ صناعة الترانزستور بإنماء بلّورات خالية من العيوب من السيليكون؛ إذ تعتمد الخصائص الكهربائية لأشباه الموصلات على إضافة كميات ضئيلة من الشوائب، لا تتعدّى في بعض الأحيان ذرّة واحدة لكلّ مليون ذرّة، أو ربّما أقل من ذلك، وعلى اختلالات دقيقة في بنيتها البلّورية. وعلى نحو مماثل، تتكون الألياف الضوئية من زجاج السيليكا النقيّ للغاية؛ لدرجة أنه لو كان المحيط الهادئ مصنوعًا من المادة نفسها، لتمكّن النّاظر من السطح أن يرى دونما عناء التفصيلات في قاع المحيط على بُعد أميال. وهذه المادّة أحدثت تحوّلات في حياتنا؛ مثلما فعل الفولاذ من قبل. كما تَعِدُ الهندسة على المستوى الجزيئيّ للمادّة بالمزيد من هذا القبيل.

أوجُه التقدم الحديثة في التكنولوجيا

تنبّأ غوردون مور، الرّائد في مجال أشباه الموصلات، عام ١٩٦٥ بأنّ عدد الترانزستورات على رقاقة حاسوب سيتضاعف كلّ عام. ويُعرف ذلك الآن بقانون

مور؛ وقد ثبتت دقّته إلى حدّ كبير. ويتضاعف عدد الترانزستورات وسرعة الحساب في المعالجات الدقيقة حاليّاً كُلّ ١٨ شهراً على وجه التقريب. وتستمر الترانزستورات في التقلُّص من حيث الحجم إلى مقاس نانويّ؛ فضلاً عن أنها تصبح بمرور الزمن أسرع وأرخص وأكثر تنوُّعاً. وتتركّز البحوث اليوم على زيادة سرعة الحواسيب وسعتها بشكل أساسيّ؛ من خلال تطوير تكنولوجيا الدّارات المتكاملة وإيجاد عناصر تبديل أسرع. وقد طُوِّر ما يُعرف بالدارات المتكاملة ذات مستوى التكثيف العالي جداً VLSI، التي تحتوي الواحدة منها على بضع مئات من الألوف من العناصر الإلكترونية على رقاقة مفردة. كما طُوِّرت حواسيب ذات سرعة عالية جداً، يُمكن فيها الاستعاضة عن الدارات الفائقة الموصليّة باستخدام وُصلات جوزيفسون، وتعمل عند درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق.

لقد تسبّب التطور في مجال الدارات المتكاملة في تثوير ميادين عدة، على رأسها: الاتصالات، وتداول المعلومات، والحوسبة. وتعمل الدارات المتكاملة على تقليل أحجام الأجهزة وخفض تكاليف التصنيع والأنظمة؛ مُوفّرةً، في الوقت نفسه، سرعة عالية وموثوقية كبيرة. وهذه مكّنت بدورها ـ إلى جانب التقدّم في العلوم الطبيعية وعلوم الحياة ـ من الحصول على تقنيات متقدّمة متنوّعة في ميادين الصحة والغذاء، والطاقة والإنارة، والمياه والبيئة، والمواد. ونورد فيما يأتي بعض الأمثلة.

الأدوات الرّقمية

الساعات الرّقمية، والحواسيب المحمولة، والألعاب الإلكترونية، هي من بين الأنظمة التي تقوم على استخدام المعالجات الدقيقة. وتشمل التطورات الأخرى رقمنة الإشارات المسموعة؛ فيُرمّز تردد الإشارة واتساعها رقميّاً. وتبدي التسجيلات الموسيقية الرّقمية وضوحاً أكبر، لا يمكن الحصول عليه باستخدام طرق التسجيل المباشرة. وقد دخلت أجهزة استرجاع التسجيلات الرقميّة السوق المنزليّة. ويمكن للتخزين الرّقمي أيضاً أن يشكّل الأساس لأنظمة الڤيديو المنزلية، ويغير بصورة

جوهرية أنظمة التخزين المكتبية؛ لأنّ كمّاً أكبر من المعلومات يمكن تخزينه على قرص لاسترجاعه على شاشة تلفازية صغيرة.

بينيّة الحاسوب ـ الإنسان

من المتوقع أن تصبح الحواسيب أكثر تقدُّمًا، وأن تَغْدو أسهل استخدامًا. وسيستفيد الحاسوب في تشغيله من التمييز الموثوق للكلام؛ ما يجعل التشغيل أسهل. إنّ تكنولوجيا التفاعل مع الحاسوب باستخدام حواسّ الإنسان كلها، التي توسَمُ بأنّها واقع افتراضيّ، من شأنها أن تسهم أيضًا في تطوير بينيات أفضل تربط بين الحاسوب والإنسان. ويجري حاليًا تطوير معايير للُغات برنامج الواقع الافتراضي، المسمّاة «لغات النمذجة للواقع الافتراضي VRML»، للإنترنت على مستوى العالم.

أمن الحاسوب

تستمر الحواسيب في كسب المزيد من القوّة والتنوّع. وليس من الصعب أبدًا أنْ يُدرك المرء أن الحواسيب تسهّل حقًا الحياة اليومية لبني البشر. ولسوء الحظّ، فكلما اتّسع نطاق استخدام الحاسوب، ازدادت فُرَص إساءة استخدامه. ويتنامى يومًا بعد يوم عدد قراصنة الحاسوب. ويصل هؤلاء الأشخاص بطريقة غير مشروعة إلى أنظمة الحاسوب، ويخترقون خصوصية أصحابها؛ فيعبثون بالسجلات أو يخرّبونها. ويحقن القراصنة شبكات الحاسوب ببرامج تسمّى الفيروسات أو الديدان. ويمكن لهذه البرامج الدّخيلة أن تنسخ نفسها، وتنتشر من حاسوب إلى آخر؛ فتعمل على محو المعلومات أو تعطيل الحواسيب. وثمّة أشخاص آخرون يستخدمون الحواسيب ليختلسوا إلكترونيًا الأموال، ويضيفوها إلى أرصدتهم. ونتيجة لذلك، فقد أصبح تنظيم المادّة على الإنترنت عبر العالم مسألةً أخلاقية يتعيّن حلّها. ويعمل الأفراد والشركات والحكومات جنبًا إلى جنب لحلّ المشكلات المشار إليها. ومن بين الوسائل التي يُركّز عليها في هذا الإطار: تطوير وسائل أفضل لتحقيق الأمن الحاسوبي، وتفعيل التشريعات النّاظمة.

الرّؤية الحاسوبية

تعدّ الرؤية الحاسوبية فَرْعًا من الذّكاء الاصطناعيّ. وتهدف إلى تزويد الحواسيب بوظائف تشبه الإبصار في الإنسان. فعلى سبيل المثال، مكّنت الرؤية الحاسوبية من القيام بتطبيقات مهمّة متنوعة؛ مثل: الأتمتة الصناعية، والإنسان الآليّ، والطب الحيويّ، ورصد الأرض من الفضاء بالأقمار الاصطناعية (السواتل). وفي مجال الأتمتة الصناعية وحده، تشمل تطبيقات الرؤية الحاسوبية توجيه الروابيط؛ لتلتقط بدقة الأجزاء المصنعة وتضعها في أماكنها الصحيحة. أضف إلى ذلك الفحوصات غير الإتلافيّة المتعلقة بالجودة والسلامة، والقياسات المباشرة باستخدام الحاسوب.

نظام الموقع الجغرافي ونظام المعلومات الجغرافي GPS/GIS

إنّ جمع البيانات الميدانية يطرح مشكلات صعبة لراسمي الخرائط والمسّاحين والمهندسين والباحثين؛ لأنّ الأدوات المستخدمة لتطبيقات عمل الخرائط كبيرة الحجم، وثقيلة الوزن، ومرتفعة الكلفة، وصعبة التعلُّم. وحديثًا، شهدنا بعض التقدّم في تكنولوجيا نظام الموقع الجغرافي (المستقبلات)، والمُعَدّات الحاسوبية الخاصة بجمع البيانات، والبرمجيات المرتبطة بجمع البيانات الميدانية. فقد ازدادت دقة نظم الموقع الجغرافي المستقلّة، وأصبحت معدّات جمع البيانات أصغر حجمًا وأخفّ وزنًا وأقل كلفة. كما غَدَت البرمجيّات أرخص وأسهل تعلُّمًا، وتوافرت معيّنات المدى الليزريّة بأسعار منخفضة. ويمكن القول إنّ جميع أوجُه التقدم هذه أسهمت في جعل مهمّات جمع البيانات لنظام الموقع الجغرافي ونظام المعلومات الجغرافي أسهل من ذي قبل؛ مثلما باتت أفضل من الناحية الاقتصادية، وأصبحت تُنجَز بسرعة أكبر.

تكنولوجيا الفراغ

تعدّ هذه التكنولوجيا أمرًا محوريًا للكثير من التقنيات والتطبيقات المتقدّمة في مجالات شتّى؛ مثل: أشباه الموصلات، والطبقات الرقيقة، والفضاء، والسطوح،

والفيزياء، والصناعة. ويتطلّب التقدم في علم الفراغ فهمًا أكْمَلَ للتداخلات بين الطور الغازي والطور الصُّلب على النطاق الذّرّيّ والجاهريّ. ومن بين أوجُه التقدم التي ظهرت أو نضجت منذ عام ١٩٩٠، شهدنا تطوّرات في معدّات الفراغ والأجهزة المرتبطة به؛ إلى جانب التصميم بمساعدة الحاسوب والهندسة. وقد أدت المضخات الجافة، ومضخات المياه، ومضخات السحب السريعة، إلى تحسين مقاييس الضغط الكلّي والجزئي، وتصغيرها. ومن الأمثلة على الأجهزة في هذا المضمار: أجهزة رصد الجسيمات في الموقع، وأجهزة كشف التسرُّب.

من ناحية أخرى، نضجت تطبيقات أخرى؛ مثل: استخدام محطات العمل، وبرمجيات النمذجة الصلبة الثلاثية الأبعاد، المرتكزة على الحواسيب الشخصية في التصميم الميكانيكي للأنظمة؛ إضافة إلى البرمجيات المستخدمة في نمذجة تدفق الغاز، والتنبؤ بأداء أنظمة الفراغ.

تكنولوجيا الإطارات

لقد حدث تقدّم في مواد الإطارات، وبناها، وتقنيات صنعها. وقاد هذا التقدّم إلى منتجات أكثر فاعلية، وأقلّ كلفة، وأكثر تَجانسًا. وظهرت أجيال جديدة من حشوات النّانو، والحشوات المعدّلة السطح، والحشوات المعالجة بالپلازما؛ إضافة إلى موادّ التسليح، مثل الأراميد. وألياف الأراميد هي صنف من الألياف القوية المقاومة للحرارة. ويكثر استخدامها في مجالات غزو الفضاء، والتطبيقات العسكرية؛ مثل: صناعة الدروع الجسدية البالستية، أو بدلاً من الأسبستوس، وهو مادة مقاومة للاحتراق.

الإلكترونيات الطبيّة

تقدّمت الإلكترونيّات الطبية من التصوير السطّحي المحوري المحوسب بالأشعة السينيّة، أو التصوير المقطعي باستخدام أجهزة المسح؛ إلى أنظمة باستطاعتها تمييز

أعضاء جسم الإنسان الدّموية، والجهاز التنفسي. من ناحية أخرى، يَعدُ التلفاز ذو الوضوح الفائق بالحلول محلّ الكثير من عمليات التصوير؛ لأنّه يلغيَ الحاجة إلى الفضّة.

إنّ علاج السّرطان بالحرارة المفرطة في عُمق الجسم؛ وكذلك أساليب العلاج المبتكرة الموجَّهة بالحرارة - ومنها توجيه الأدوية إلى أهدافها، والاعتماد على قدرة الجينات على تعديل الكائن الحيّ - تستفيد من التسخين الكهْرَمغناطيسي المتحكّم فيه، من دون استئصال في جذع المريض.

وقد أصبح الرّبط بين العلاج بالحرارة وأنظمة الرنين المغناطيسي ممكنًا، من أجل مراقبة درجات الحرارة.

وتجدر الإشارة إلى أنّ التقدُّم الحديث في تصوير قدرة الجينات على تعديل الكائن الحيّ، بالاستفادة من تقنيات النّويدات المشعّة في الكائنات الحية، مكّن بدوْره من حصول تقدّم في تكنولوجيا تصوير الثّدي. ويعكف الباحثون على استقصاء تشكيلة من تقنيات التصوير، بوصفها أدوات لدراسة قدرة الجينات على تعديل الكائن الحيّ. فمثلاً، تُعَدّ الخطوات المتعلقة بالنظائر الموسومة إشعاعيّا والمعروفة باسم التصوير السطحي المحوسب بالأشعة السينيّة لإشعاع الفوتون المفرد، والتصوير السطحي بالأشعة السينية لإشعاع البوزترون، اثنتين من التقنيات الأكبر أهميّة في هذا المجال. وتتّصف الأساليب المرتكزة على النّويدات المشعّة بحساسية مرتفعة نسبيّـًا، وقدرة تامّة على التصوير السطحيّ؛ إضافة إلى القدرة على توسيع التجارب المجراة على الحيوانات الصغيرة مباشرة إلى تطبيقات على الإنسان. ومن الممكن تركيب مجسّات أو متتبّعات موسومة إشعاعيّا لاستهداف جزيئات بعينها في خلايا سرطان الثّدي. ومنها، على سبيل المثال: أجسام مضادّة، أو ليغانْدات، لاستهداف المستقبلات السطحية للخلايا؛ وركائز للإنزيمات، الواقعة ضمن الخلايا؛ ومجسّات نيوكليوتيدات أوليغو - ديوكسي، التي تستهدف الحَمْض النّووي الرّايبوزي النّاقل mRNA؛ والمستشعرات الخاصّة بالمستقبلات، الواقعة ضمن الخلايا؛ والمجسّات الخاصّة بالجينات، التي تُنقل إلى الخلايا.

وبسبب مخاوف تتعلّق بالسلامة بفعل الإشعاع، بدأ العلماء بالتحوُّل إلى علامات بديلة؛ مثل العلامات المتوهجة شبه الموصلة البالغة الصّغر، ذات الحجم النّانومتريّ.

الجينوميّات

تقدّمت التكنولوجيا المرتبطة بالحَمْض النووي (الدنا DNA) بصورة هائلة. وتأتي سَلْسَلة هذا الحمض في قلب المشروع الجينوميّ للإنسان؛ ذاك المشروع الذي يَعدُ بتثوير العلوم الطبية الحيوية، وعلاج أمراض البشر. وثمّة حاجة لاختبار عينات أصغر فأصغر من موادّ حساسة بيولوجيّاً. فعلى سبيل المثال، لمقارنة الحمض النوويّ من كائنات حيّة مختلفة، يتّبع العلماء عُمومًا إجراءات تتكوّن من خطوات ثلاث. فهم يعزلون أوّلاً هذا الحمض للحصول على عينة نقيّة منه. ومن ثمّ يستخدمون التفاعل المتسلسل لتضخيم تعاقب صغير للحمض في حدود مليون مرّة. وبذلك، يحصلون على نسخ كافية من ذاك التعاقب الصغير؛ ممهّدين الطريق للخطوة الثالثة، التي تتمثّل في سَلْسَلة التعاقب الصغير للحمض وتحليله.

تُشير سَلْسَلَة الحمض النوويّ إلى طرق تحديد ترتيب قواعد النيوكليوتيدات، والأدنين، والغوانين، والسيتوسين، والثيامين في جزيء واحد من الحمض. وقد حُصل على أول سلاسل الحمض في مطلع سبعينيات القرن باستخدام الكروماتوغرافيا الثنائية الأبعاد. وفي عام ١٩٧٥، كان أوّل جينوم حمض نووي كامل تجري سَلْسَلَتُهُ هو ذاك الذي يعود لآكل البكتيريا. وفي عام ١٩٧٧، نشر الباحثان ألان ماكسام وولتر غلبرت طريقة سَلْسَلة الحمض عن طريق الانحلال الكيميائي. كما نشر فريدريك سانغر بصورة مستقلّة طريقة سَلْسَلة الحمض بواسطة التركيب الإنزيميّ. أما طرق السَّلْسَلة المستندة إلى استخدام الأصباغ مع تحليل أوتوماتيّ، فطُوّرت فيما بعد؛ في أواسط تسعينيات القرن. وقد جعلت هذه الطرق عملية السَّلْسَلة أسهل وأسرع. والجدير بالذكر أنّ السرعة الكبيرة التي تميّزت بها تقنيات السّلْسَلة الحديثة كانت ذات فائدة جمّة في توليد التعاقُبات الكاملة للحمض النووي؛ لجينومات الإنسان، والحيوان، والنبات، والميكروبات.

رُقَع إعطاء الدّواء عبر الجِلْد

تنامى عدد الأدوية، والطرق التي تُعطَى بها هذه الأدوية للمرضى، بصورة مثيرة على مرّ السنين. وأحد أوجُه التقدم التي تحققت في هذا الميدان: تطوير أنظمة لإيصال الدّواء عبر الجلْد. ويعكف المختصّون على البحث عن طرق جديدة بإمكانها أن توصل بفاعلية، ومن دون ألم، جزيئات أكبر بكميات علاجيّة؛ من أجل التغلّب على الصعوبات المرتبطة بإعطاء الأدوية عن طريق الفم. ويعرّف نظام إعطاء الدواء عبر الجلد بأنّه النظام الذي يتحقّق فيه إيصال المكوِّنات الفعّالة من الدّواء إلى الموضع الهدف بواسطة الجلد. والأخير عبارة عن وسط فعّال يُمتصّ منه الدواء، ليدخل إلى نظام الدورة الدموية في الجسم. وتستخدم أنواع شتّى من الرّقع لإدخال المكوّنات الفعّالة للأدوية إلى نظام الدورة الدموية عبر الجلد. وقد أثبتت تلك الرُّقع فاعليتها، نظراً لما تتمتع به من مزايا؛ مقارنة بأنظمة إيصال الدواء الأخرى.

تكنولوجيا الخلية المفردة والجزيء المفرد

تطلّب التقدّم في تكنولوجيا الطبّ الوقائي، التي تهدف إلى الكشف المبكّر عن المرض وعلاجه قبل أن يستفحل، إجراء قياسات فائقة الحساسية على جزيئات الخلايا أو الحمض النووي. وتجدر الإشارة إلى أنّ ذلك كان المحرّك للمزيد من التقدم في جوانبَ مختلفة؛ مثل: البروتينات اللامعة، والفلوروفورات الصغيرة الجزيئات، والعلامات شبه الموصلة المشعّة في نطاق النّانو.

التّطعيم الصناعي للعظام

تُجرى قُرابة نصف مليون عملية لحام فقرات، أو تطعيم عظام، سنويّاً في الولايات المتحدة الأمريكية. وضمن هذه العمليات، تعدّ الخيارات المفضلة: زراعة نسيج عظميّ من جسم شخص في جسم آخر؛ أو زراعة نسيج عظميّ في جسم المريض، يؤخذ منه هو. وما زالت التطوّرات في مجال المواد الحيوية تظهر بين الحين والآخر، نتيجة

للبحوث التي تتواصل للبحث عن موادّ جديدة. ومن الموادّ التي أدخل استخدامها حديثًا: موادّ بديلة لتلك المستخدمة حاليًا في تقنيات تطعيم العظام. وتحتوي المواد الجديدة على مركّب تريكالسيوم فوسفات، وعلى مركّب هيدروكسي أپاتيت مستخرج من مرجان البحر.

التحكّم بالخصوبة

تتمثل القوة الدّافعة الأساسية للبحوث الحالية، في مجال تكنولوجيا التحكّم بالخصوبة، في تحسين الوسائل المتوافرة حاليًا وتكييفها. وقد شهدت الوسائل غير السريرية تحسينات تتعلّق بالتغليف؛ واستخدام واقيات ذكريّة ملوّنة ومشحّمة؛ ومستحضرات رغويّة مبيدة للجراثيم، وقاتلة للحيوانات المنويّة. أما الوسائل السريرية ـ التي تتضمن استخدام اللولب ـ فقد شهدت تطوير الغشاء الپلاستيكيّ المطويّ. وهنالك أيضًا طريقة المشبك والحلقة، التي تسمح بتعقيم الإناث بإدخال أداة تسمّى المجواف في رحم المرأة؛ من دون حاجة إلى دخول المستشفى. وتعد هذه الطريقة تقدُّمًا جيدًا في عمليات تعقيم الإناث.

من ناحية أخرى، طُوّرت وسائل مبسّطة غير كهربائية لسَفْط الرّحم وتنظيم الطمث، أدت إلى إتاحة أكبر لوسائل منع الحمل البَعْديّة.

الاستنساخ

جرى تداوُل الاستنساخ لبضع سنوات؛ ولكنّه لم يَحْظَ باعتراف الجمهور إلا منذ وقت قريب. ويعدّ استنساخ الحيوانات وسيلةً للتكاثر غير الجنسيّ؛ إذ تُنمّى خلية مفردة للحصول على حيوان مطابق جينيًا للحيوان الذي أخذت منه الخلية. ومن حيث المبدأ، فإن استنساخ البشر أمرٌ مماثل؛ غير أنّه تكتنفه تعقيدات أكثر. وقد شهد ميدان الاستنساخ بعض النّجاحات. وكانت النعجة دولي أوّل استنساخ ناجح. إلا أنّ الأمر تطلب ٢٧٧ محاولة قبل أن تولد بصحة جيدة. واستطاع العلماء أيضًا استنساخ

قطط، وأبقار، وخنازير، وماعز، وفئران، وغيرها من حيوانات المزارع. إلا أن الحيوانات المستنسخة عانت من اختلالات أساسية وتلف في الدماغ. فوُضعت تحت أجهزة التنفس وآلات التغذية؛ ولبعضها، كان ذلك فور الولادة.

وحديثًا، استُنسخ مُهْر من خلية أخذت من مُهْرَة. وعُدّ ذلك تقدّمًا هائلاً في علم الاستنساخ. أما بالنسبة للإنسان، فتلك مسألة أخرى مختلفة؛ إذ إنّ ثمة مخاطر كبيرة في استنساخ البشر بسبب البنية الجزيئية. وإلى يومنا هذا، شكّلت الحيوانات وحْدَها مجموعة الاختبار في حقل الهندسة الجينيّة.

معالجة الغذاء وتكنولوجيا التغليف

وصل حجم العمل العالميّ في معالجة الغذاء وتغليف المواد الغذائيّة إلى بضعة تريليونات من الدولارات. ومن أبرز جوانب التقدّم في هذا المجال: تقنيات التغليف الأنيقة؛ ودوْر تكنولوجيا النّانو في التغليف؛ وأنواع مختلفة من الماكنات تشمل تطبيقات الرابوط؛ وتقنيات الطباعة على الأغلفة؛ وأدوات الأتمتة والتحكّم التقليدية.

المنتجات المتقدّمة للعناية بالبشرة

يعكف الكيميائيون والمهندسون في صناعة مستحضرات التجميل على التركيز على آخر التقنيات والقضايا المتعلّقة بتطوير منتجات مبتكرة في مجال العناية بالبشرة. وتشمل أوجُه التقدّم في التشكيل والتطوير: الموادّ الخام، والمكوّنات الفعّالة، والفحوصات المركّبة، والتقييم السريريّ. والهدف هو إيجاد منتجات فعّالة للعناية بالبشرة للرجال والنساء، في مجموعة متنوعة من التجمعات السكانية المختلفة الأعراق. وتشمل تلك المنتجات: المنظفات، والمرطّبات، والملوّنات، ومضادّات التعرُّق، وواقيات الشمس، وحموض الهيدروكسيل، والمواد الشبيهة بالقرنيّة، والفيتامينات الموضعيّة، ومانعات الأكسدة الغذائية، ومانعات الأكسدة النباتية الموضعيّة، والمواد المضادة للالتهابات ذات الاستخدام الموضعي. أما أكثر المجالات

خصوبة فيما يتعلق بالعناية بالوجه، فهو المتعلّق بمقاومة آثار الشيخوخة. وتُعزى شيخوخة الجلد بشكل أساسيّ إلى التعرّض للشمس وفقدان الهرمونات؛ ومنها، على سبيل المثال: هرمون النموّ، والتستوستيرون، والإستروجين. ويقود هذان العاملان إلى الأكسدة الزائدة لألياف الكولاجين والإلاستين؛ ما يتسبب فيما يعرف بالتقاطُع. وفي الجلد المتجدد، توجد هذه الألياف على هيئة حزم ثخينة موزّعة بشكل منتظم تحت سطح الجلد. ويقود هذا «التقاطع» إلى تكوّن الغمّازات، وإلى تدلّي الجلد. ويسهم الإشعاع فوق البنفسجي على أية حال بما نسبته ٩٠٪ من أعراض شيخوخة الجلد قبل الأوان. ويبدأ الأفراد المتقدّمون في السّنّ برؤية خطوط رفيعة وتجعّدات؛ كما تقلّ سماكة الجلد، ويصبح لونه غير منتظم، وكذلك نسيجه. أضف إلى ذلك نقص الكولاجين والإلاستين، والاختلالات الوظيفية المتعلّقة بالحدود؛ وحتى الزّمْوَهَة. وتتبدّى الأخيرة في جلد جافّ وهشّ، ينتج عن فقدان حدّ من الدّهن المسؤول عن التحكّم بكمية الرطوبة، الّتي يطلقها الجلد إلى الجوّ. إن الأشعّة فوق البنفسجيّة لا تدمّر الحمض النوويّ في خلايا الجلد حسْب؛ وإنّما تعيق أيضًا آليات الإصلاح، التي تصلح خلايا الجلد التّالفة.

إنّ انهيار الحمْض النووي أو استنزافه، فضلاً عن نضوب الكولاجين والإلاستين والحمض الهيالورونيّ، وغير ذلك من الجزيئات الدّاعمة في الأدَمَة؛ كل ذلك يقود إلى تغيّرات إكلينيكيّة في جلد الوجه تُفضي إلى شيخوخته. وتشمل مستحضرات العناية بالجلد المقاومة للشيخوخة موادّ مثل: ڤيتامينات (A و C و E)، وحموض ألفا ـ هيدروكسيل، وحمض الغلايكول، والفورفويل أدنين ن ـ ٦ (الكنتين)، وپپتيدات النحاس، ومستخلص الشاي الأخضر، ومواد پال ـ كي تي تي كي إس وتي إن إس. على سبيل المثال، فإنّ پپتيدات النحاس هي آخر اختراق علمي في مجال تجديد شباب الجلد. فقد وُجد أنّ النحاس يعمل بشكل طبيعي على تثبيت الجلد وتحسين مرونته؛ إضافة إلى التقليل من الخطوط الرّفيعة والتجاعيد.

تخزين الطاقة والمواسِعات Capacitors الفائقة

تمثّل المواسعات الفائقة صنفًا جديدًا من العناصر المرتبطة بتكنولوجيا التخزين. وتخزّن تلك المواسعات الشحنة بواسطة طبقة مزدوجة كهربائية رقيقة للغاية، ولها القدرة على تخزين كميّات أكبر من الطاقة؛ مقارنة بالمواسعات التقليدية. أضف إلى ذلك أنّ باستطاعتها إعطاء طاقة أكبر من تلك التي تعطيها البطّاريّات. فعلى سبيل المثال، ستكون لمواسِع كَهْرَلِيّ نمطيّ بحجم خلية من الصّنف D مُواسعة في حدود عشرات الميلي فاراد. أما مواسِع كهربائي بالحجم ذاته ذو طبقتين، فستكون مُواسعته بضعة فارادات. ويمكن أن نَعدّ ذلك تحسينًا بمرتبتين أو ثلاث فيما يتعلّق بمقدار المواسعة؛ لكنْ بفرق جهد كهربائي أقلّ.

إنارة الحالة الصّلبة

باختراع الثنائيات التجارية الباعثة للضوء في ستينيّات القرن العشرين، فُتح الباب أمام شكل مدهش من أشكال تكنولوجيا الإنارة. فعلى العكس من الإنارة التقليدية، تستغلّ الثنائيات الباعثة للضوء رقاقةً لإنتاج الضوء. وهي تتميّز باستهلاك أقلّ للطاقة الكهربائية، وتجنُّب النواتج الطفيليّة المصاحبة لمصابيح الإنارة العادية؛ وأهمها الحرارة. وتأتي الثنائيات الباعثة للضوء بالألوان: الأحمر، والأصفر، والبرتقالي، والأزرق. وقد غدا ممكنًا توليد ضوء أبيض بواسطة تجميع الضوء من ثنائيات باعثة للضوء منفصلة (الأحمر، والأخضر، والأزرق). واستُخدمت تقنية حديثة ثنائيّـًا مفردًا باعثًا للضوء الأزرق/ فوق البنفسجيّ، وطلاء فسفوريّـًا على هيئة طبقات رقيقة، كمحوِّل لإنتاج الضوء الأبيض؛ نظرًا لأنّ الفوسفور قادر على إشعاع طيف واسع من الضوء بأطوال موجيّة مختلفة. غير أنّ التحويل الذي يقوم به الفوسفور ـ كما لوحظ في أحدث استخدام للفوسفور الأبيض سلاحًا للإنارة في الحرب على غزة من جانب الجيش الإسرائيلي ـ يغطي بصورة تامّة طيف الضوء الأبيض للشمس. لذلك، توالت الاقتراحات لاستخدام مكوّنات إضافيّة مكمّلة للفوسفور؛ مثل جسيمات النّانو شبه الموصلة.

التكنولوجيا: ماذا بَعْدُ؟

لقد كان القرن العشرون زمنًا للتغيرات الاستثنائية؛ بظهور تقنيات جديدة واختراعات مهمّة بسرعة مذهلة. وأدّى ذلك إلى نقل عالَمنا إلى أمور تتخطّى الإدراك؛ وكذلك حياتنا وطموحاتنا. وتشمل القضايا الأيقونيّة للقرن: الطيران، وغزو الفضاء، والتِّلفاز، والحرب الممكننة، والطب، وألعاب الفيديو، والموسيقى الإلكترونية، وناطحات السحاب، والتجسُّس الإلكتروني، وغيرها الكثير. وكذلك الحال بالنسبة للتكنولوجيا، كالسيّارة والإنترنت، اللتيْن أصبحتا غير قابلتين للتوقف.

غير أنّ القرن العشرين قُدّر له أنْ يُعْرَفَ بمنصّة الانطلاق لتكنولوجيا النّانو. ففي أواسط عام ١٩٩٠، بدأ العلماء يُدركون أنّه يمكن الحصول على مواد عالية الأداء ذات خصائص فريدة؛ ليس فقط من خلال تغيير تركيب المادّة، وإنّما أيضًا عبر تقليص حجم المادة إلى بضع عشرات أو مئات من الجسيمات، في بُعْد أو اثنين أو ثلاثة. فعلى سبيل المثال، اكتُشف أنّ السيليكون لن يشعّ ضوءاً بفاعليّة عندما يكون على هيئة بلورات كبيرة؛ وذلك بسبب فجوة الحزم غير المباشرة. لكنه سيكون قادراً على ذلك إذا قُلِّص إلى بلورات دقيقة بأحجام نانومتريّة. ويوفّر كثير من المواد النانومترية أجهزة جديدة: إمّا بإدخال تحسينات على تقنيات قائمة أصلاً، مثل تحسين الخلايا الشمسيّة؛ أو توفير أجهزة جديدة ترتكز على المادّة النّانومترية حسبُ ـ أي قائمة بذاتها ـ مثل العلامات الطبية الحيوية.

لقد شهد عام ١٩٩٩ إطلاق الرّئيس الأمريكي كلينتون المبادرة الوطنية الأمريكية لتكنولوجيا النّانو؛ وتخصيصه ملايين الدّولارات لفحص هذا الميدان، من أجل الحصول على موادّ فاعلة، واختراع أجهزة جديدة. وحَذَتْ دول أخرى حَذْوَ الولايات المتحدة الأمريكية في ذلك. ومنذ ذلك الوقت، نشهد انفجاراً في البحث والتطوير في جميع جوانب هذا المجال. وكما نفهمها اليوم، فإن تكنولوجيا النّانو هي السيطرة على المادّة في نطاق أصغر من عُشْر الميكرومتر، وتصنيع أجهزة في النطاق نفسه. وفي صميم هذه التكنولوجيا، تكمن الاهتمامات الرئيسية الثلاثة: تطوير مواد جديدة، وتحقيق مفهومات أجهزة النانو، وتقليص الأجهزة الموجودة إلى أبعد حدود الحجم الممكنة.

ولأهمية تكنولوجيا النّانو، نفرد لها الفصل المستقلّ التالي.

الفصل الرّابع

تكنولوجيا النّانو

أ. د. منير نايفة



تكنولوجيا النّانو: قاعدة التكنولوجيا للقرن الحادي والعشرين

الأستاذ الدّكتور منير نايفة

ترجمة: الأستاذ الدّكتور وهيب النّاصر

والمهندس حيدر المومني

يُنظر إلى تكنولوجيا النّانو Nanotechnology على أنّها عُملة التكنولوجيا في القرن الحاليّ؛ فقد اجتذبت بلايين البلايين من الدّولارات لتمويل البحوث، وآلاف الآلاف من العلماء والمهندسين. إنّها ـ ببساطة ـ تكنولوجيا مثيرة وفريدة من نوعها، تدعو إلى المغامرة والغوص في شتّى مجالات العلم والتكنولوجيا على نحوٍ يتعدّى ما أُنجز في المجالات الأخرى. فهي لم تبلُغْ ذروتها، ولم تصل إلى هدفها النهائيّ بَعْد. ومع أنّه لم يتسنّ لنا حتى الآن الإلمام بها من جميع جوانبها بصورة تامّة، فاللافت أنّها أسرت خيال الشباب والكبار، والعلماء وعامّة الناس. وهي ما انفكّت تدفعنا إلى أن نحلم بأن نتمكّن في مستقبل الأيام من حل المشكلات الأساسية التي تواجه الجنس البشريّ؛ كالأمراض المستعصية، والطاقة، والإنارة، وأزمة الغذاء.

في هذه الدراسة، نشرح المقدّمات المنطقية لهذه التكنولوجيا، والمنهجية العامّة لكيفية صُنع موادّ نانومتريّة تشكّل وحدات البناء الرئيسية لتكنولوجيا النّانو. ثم نعرض بعض الأمثلة الشائعة على تكنولوجيا النّانو، وعدداً من تطبيقاتها الحالية البسيطة والمتقدّمة، والتطبيقات المستقبلية. بعد ذلك، نتطرّق إلى معالجة قضايا التسويق التجاري، ومخاوف المستهلكين المتعلّقة بالسلامة، وإمكانية استغلال تكنولوجيا النانو في المجالات العسكرية. وفي آخر المطاف، نطرح التساؤل حول ما إذا كانت تكنولوجيا النّانو ستُثبت يومًا أنها بحق أساس التكنولوجيا للقرن الجديد.

مقدّمة

ألقى الدكتور ريتشارد فاينمان - الحاصل على جائزة نوبل للفيزياء - كلمة عام ١٩٥٩ في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، قال فيها: «ثمة متّسع كبير في القاع». وأوضح في مناقشته ما تتمتع به الهندسة على المستوى الجزيئيّ من إمكانات. ورغبة منه في تحفيز العمل بهذا الاتجاه، فقد عرض تقديم مكافَآت مالية، قيمة كل منها ألف دولار من ماله الخاص، لأول شخص يصنع محرّكًا كهربائيًا عاملاً بحجم ١/ ٦٤ من البوصة أو أصغر من ذلك، ولأوّل مَنْ يقدّم نصّا مكتوبًا بمقياس ١/ ٢٥٠٠٠؛ أي ما يعادل الحجم المطلوب لطباعة **الموسوعة البريطانيّة** *Encyclopedia Britannica* بالكامل على رأس دبّوس.

وقد طالب بجائزة المحرّك الكهربائيّ عام ١٩٦٠ أحدُ المهندسين، الذي وجد طريقه لبناء محرّك صغير جداً باستخدام التقنيات الميكانيكية التقليدية. وللأسف، فإنّ الدكتور فاينمان كان قد حدّد الحجم المطلوب للمحرّك أكبر بقليل مما يتطلّب اختراقًا في مجال التكنولوجيا؛ ومع ذلك، فقد دَفَع المال. أما تحدّي الطباعة، فاستغرق وقتًا أطول. ففي عام ١٩٨٥، تمكّن طالب يدعى ثوماس نيومان Thomas Newman - وهو خرّيج جامعة ستانفورد - من نسخ الصفحة الأولى من رواية تشارلز ديكنز «**قصة مدينتيْن**

A Tale of Two Cities»، على صفحة «ضلعها» بقياس ١/ ١٦٠ من المليمتر (أي أصغر بعشرين مرّة مما يمكن أن يُرى بالعين المجرّدة). وقد أنجز ذلك باستخدام الطباعة الحجرية بالأشعة الإلكترونيّة. وهُنا مَنح فاينمان المكافأة بحماسة؛ لأنّ ما قدّمه الطالب يمكن عَدُّه تكنولوجيا متقدّمة.

ويمكن القول إنّ تلك الفترة شكّلت لحظة حاسمة في تاريخ التصغير، وتكنولوجيا النّانو (التكنولوجيا في النطاق الجزيئيّ)؛ فقد لُبّيت دعوة فاينمان إلى تصغير المنتجات في وقت قياسيّ. لقد توقّع فاينمان أن تأخذ عملية التصغير منحى متدرّجًا؛ لكنّها أذهلت الجميع بسرعة تقدُّمها. وكانت تلك بداية الطريق إلى تكنولوجيا النّانو. وكما يتّضح اليوم، فتكنولوجيا النّانو تنطوي على التحكّم بالمادّة في نطاق أصغر من عُشر الميكرومتر؛ علاوةً على تصنيع أجهزة وأدوات في النطاق ذاته. وفي صميم هذه التكنولوجيا، تكمن ثلاث منافعَ أساسية؛ هي: تطوير مواد جديدة، وتحقيق مفاهيم أجهزة النّانو، وتصغير أحجام الأجهزة المتوافرة حاليًّا إلى أبعد الحدود الممكنة.

إنّ اكتشاف موادّ بخصائص غير مألوفة ليس ممكنًا بتغيير بنى تلك الموادّ حسب؛ وإنّما أيضًا بتقليص حجم تلك المواد إلى بضع عشرات أو مئات من الجسيمات في بُعد أو اثنين أو ثلاثة. فمثلاً، لن تبعث مادة السيلكيون ضوءاً بكفاءة عندما تكون على هيئة بلورة كبيرة؛ وذلك بسبب فجوة الحزم غير المباشرة. لكنها ستفعل ذلك إذا قُلّصت إلى بلورة صغيرة جداً، بحجم بضعة نانومترات. إنّ الكثير من الخصائص المغناطيسية غير المألوفة - مثل المقاومة المغناطيسية العملاقة Giant magneto resistance (GMR) ووُصلات الأنفاق المغناطيسية Magnetic tunnel junctions (MTJ) - لا يمكن الحصول عليها إلا في نطاق النّانو. ويتيح الكثير من المواد النّانومترية الفرصة لصناعة أجهزة جديدة: إمّا بتحسين التكنولوجيا الحاليّة، مثل إدخال تحسينات على الخلايا الشمسية؛ أو بصُنع أجهزة جديدة تستند فقط إلى استخدام المواد اللامتناهية الصّغر على هيئة نظامٍ مستقلّ، كالعلامات الطبية الحيوية.

وللتوصُّل إلى معرفة المقصود بالمواد غير المألوفة والتطبيقات النّادرة، نذكر بعض المواد والتطبيقات الممكنة لتكنولوجيا النانو: ألياف أقوى من نسيج العنكبوت؛ فلزّ

أقوى مئات المرّات من الفولاذ وبوزن يبلغ السُّدس؛ مساحيق أخف خمس مرّات من البلاستيك، لكنها قادرة على توفير الحماية نفسها من الإشعاع كالفلزّات؛ بلاستيك موصل للكهرباء؛ مواد طلاء عديمة الاحتكاك تقريبًا، لاستخدامها في صناعة السفن؛ موادّ يتغيّر لونها وشفافيتها وَفْقًا للطلب؛ الإصلاح الذاتيّ، والتنظيف الذاتي، ومواد لا تحتاج أبدًا إلى إعادة طلائها؛ ناقلات لتوصيل الدّواء؛ مواد حفّازة تستجيب لعواملَ أكثر، وبسرعة أكبر.

أمّا الدّافع الآخر لتقدُّم تكنولوجيا النّانو، فيتمثل في الرغبة في الحفاظ على جعل الترانزستور وخلية الذاكرة أصغر وأصغر، لتقليص أحجام الأجهزة إلى أبعد حدّ ممكن. فالتكنولوجيا الرّاهنة تتعامل مع ترانزستورات بحجم ٣٥ نانومترًا؛ مع تصغير المكونات الداخلية للترانزستور، مثل المنبع والمصرف، إلى حدّ كبير. وفي الواقع، فإنّ أحجام الترانزستورات هي في طريق بلوغها الحدود المادية الممكنة. ويفسَّر مصطلح «التصنيع اللامتناهي الصغر» عادة على أنّه نهج يقود إلى إنتاج أجهزة صغيرة الحجم. والبديل لهذا التعريف هو ما نسميه الإلكترونيات الجزيئية. ففي مجال هذه الإلكترونيّات، تُجنّد الكيمياء لتجميع مكونات الدارة المصنوعة من جزيئات مشتركة، مثل الحلقات العطرية Aromatic rings؛ لتحلّ محلّ الأسلاك الفلزّية، والترانزستورات «الكبيرة»، المصنوعة من السيليكون، أو غيره من أشباه الموصلات.

ولتحقيق الأهداف المذكورة، على فرَق البحث في ميدان تكنولوجيا النّانو أن تكون متعددة التخصصات. فهذه التكنولوجيا تتقاطع مع الكثير من التخصصات الأخرى؛ بما فيها: العلوم الغرويّة Colloidal sciences، والكيمياء، والفيزياء التطبيقية، وعلوم المواد؛ وحتى الهندسة الكهربائية، والهندسة الميكانيكية.

شيء من التاريخ: المحاولة الأولى في التصغير

حجر الصوّان هو جسم صُلب رسوبي بلّوريّ من مَعْدن الكوارتز (المَرْو)، ولونه في العادة رمادي داكن أو أزرق أو أسود أو بنّيّ غامق؛ وغالبًا يكون ذا مظهر زجاجيّ. ويرجع لونه إلى وجود شوائبَ فيه. وتوصف هذه المادة أيضًا بأنّها صوّان مركّب.

يتكسّر حجر الصوّان إلى قطع صغيرة ذات حواف حادّة. وأوّل محاولة لاستخدام هذه الخاصية في الحصول على أجسام صغيرة كانت في فلسطين من عشرين ألف سنة خَلَتْ؛ فعن طريق كسر حجر الصوان، أمكن إنتاج أجسام بطول سنتيمتر أو أقلّ. وكان يُطلق على تلك الأجسام «الحجريّات الدّقيقة Microliths». وبسبب تلك الخاصية، كانت تلك القطع الحجرية تستخدم في سالف الأزمان لصنع أدوات حجرية حادّة؛ يُحتمل أنّها كانت تستخدم أشواكًا في السهام، والرّماح، وغيرها من أدوات الصّيد المركّبة. لقد كان يُحصل على هذه الحجريات إما من شفرات صغيرة؛ أو بكسر الشفرات الكبيرة الاعتياديّة، بطريقة يُقصد منها الحصول على أشكال معينة، منها المثلثات والأهلّة والأراجيح وغيرها. وبصورة أكثر تحديدًا، كانت تلك القطع بطول سنتيمتر واحد، وبعرض نصف سنتيمتر، عند الانتهاء من صنعها. إنّ هذه الاختراعات يمكن وصفها بأنّها بدائية؛ غير أنها في الواقع كانت أدوات جميلة واستثنائية، والكثير منها كان ذا أطراف أشدّ حدّةً من شفراتنا الدقيقة المستخدمة في العمليات الجراحية. وتعدّ هذه العملية المحاولة الأولى من جانب الإنسان لتصغير مادة بطريقة مقصودة ومتحكَّم فيها. وإنّ مصطلح «ميكروي Micro»، الذي نستخدمه الآن، مأخوذ من كلمة Microlith التي تعني الحجريّات الدقيقة. كما أنّ كلمة ليثوغرافيا Lithography ، التي يُقصد بها الطباعة الحجرية، مأخوذة هي الأخرى من تلك الكلمة.

كيفية التصغير/الوصول إلى مقياس النّانو

ثمة طريقتان رئيسيتان تُستخدمان في تكنولوجيا النانو: الأولى «من الأسفل إلى الأعلى»؛ فتُبنى المواد والأجهزة من المكوِّنات الجزيئية التي تتجمّع كيميائيًّا، استنادًا إلى مبادئ الفهم الجزيئي. أما الأخرى، فهي «من الأعلى إلى الأسفل»؛ وفيها تتكوّن جسيمات النانو من كيانات أكبر من دون سيطرة على المستوى الذرّي.

وفي طريقة «أعلى ـ أسفل ـ أعلى»، لدينا الخطوات الآتية:

• تقسيم قطعة كبيرة من مادة ما إلى قطعٍ أصغر وأصغر.

• التوقف عن التقسيم قبل الوصول إلى الذرّة الواحدة؛ لنَقُلْ، مثلاً، من ٣٠ إلى ١٠٠ ذرّة، وبالقياس من ١ إلى ٣ نانومترات، أو حوالي واحد من المليار من المتر.

• تأخذ الأجزاء الصغيرة بامتلاك خصائص جديدة غير مألوفة، لا توجد في الأجزاء الكبيرة؛ ومنها خصائص كيميائية، وضوئية، ومغناطيسية، وإلكترونية، وميكانيكية، . . . .

• خفق الجسيمات بشدّة، إذا لزم الأمر؛ مع وضع غطاءٍ واقٍ لحمايتها وتثبيتها.

• استخدام أجزاء متطابقة صغيرة، مثل طوب البناء، في تركيب تشكيلات كبيرة، مثل القطعة الأمّ.

أما في طريقة «أسفل ـ أعلى ـ أعلى»، فلديْنا الخَطوات الآتية:

• البدء بذرّات من مادة معينة.

• إلصاق عدد منها (من ٣٠ إلى ١٠٠٠، مثلاً) بعضها ببعض.

• خفق الذرّات بشدّة، مع حمايتها بغطاءٍ واقٍ.

• استخدامها وحدات بناء، ككُتَل الطوب.

وأما بالنسبة للتقنيات التي تستخدم عادة في إنتاج المادّة النّانوية المصغّرة، فيمكن الانتقاء من بين مجموعة من التقنيات الفيزيائية، فضلاً عن التقنيات الكيميائية؛ وذلك اعتماداً على طبيعة المادّة النّانويّة المطلوبة، وحجمها، وكتلتها. وتشمل هذه التقنيات: طحن الكرات Ball milling، والاستئصال بالليزر Laser ablation، واللّفظ الأيونيّ Ion sputtering، ولهب الاحتراق Combustion flame، والپلازما المستحثة بالموجات الميكروية Microwave-induced plasma، والتفاعلات الكيميائية والكهْركيميائية.

أمثلة شائعة على تكنولوجيا النّانو

باستطاعتنا تصغير جسيمات النّانو وإنتاجها في الأساس من أي مادة صُلبة متوافرة لدينا؛ بما في ذلك السيراميك، والمبلمرات، وأشباه الموصلات، والفلزّات الموصلة

والمغناطيسية وفائقة التوصيل، وأكاسيدها، وما إلى ذلك. وهُنا نوجز وصف بعض الحالات الشائعة للتوضيح، التي تستخدم فيها مواد، مثل: الكربون، والسيليكون، والتيتينيوم.

الكربون: ثمة أشكال متعددة من الكربون؛ من بينها: الجسيمات النّانوية، والأنابيب النانوية، والألماس، والغرافيت. فمثلاً، كرات الكربون C60 عبارة عن قشور فارغة مغلقة، قطر الواحدة منها ٠,٧ نانومتر تقريبًا. أما أنابيب الكربون النانوية Carbon nanotubes، فهي أسطوانات فارغة. وتمتدّ الخصائص الكهربائية للأنابيب النّانوية من الخصائص الفلزّية إلى شبه الفلزّية إلى شبه الموصلة؛ تبعًا لتركيبها الذرّي. ومن الناحية الميكانيكية، فإنّ معامل (مُعاير) يَنْغ وقوة الشدّ للأنابيب النّانوية لها قيم مرتفعة (تفوق مئة مرة القيم الخاصة بالفولاذ). لقد استخدم العلماء طريقة تبخّر القوس Arc evaporation في إنتاج الأنابيب النّانوية، وذلك بتمرير تيار مرتفع بين قطبين من الغرافيت في جوٍّ من الهيليوم؛ الأمر الذي يتسبّب في تبخر الغرافيت، بحيث يتكثّف بعضه على المهبط، لتشكيل الأنابيب النّانويّة الكربونيّة.

تتيح أنابيب الكربون النّانويّة مجموعة متنوعة من التطبيقات، التي تشكّل قاعدة تكنولوجية. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدامها في بناء الترانزستورات والعناصر الإلكترونية، وأجهزة الاستشعار البيولوجيّ، ووحدات الإظهار؛ إضافة إلى تقسية المركّبات، وتحسينها. ومع ذلك، فإن لديها الكثير من أوجُه القصور؛ مثل: انخفاض الإنتاج، وصعوبة عزلها عن بعضها بعضاً نظراً لأنّها تنزع إلى التشابك، إلى جانب تعدّد طبقاتها؛ إذ غالبًا ما تخرج بتركيب متعدد الطبقات. والأهم من ذلك كلّه اعتقاد البعض أنّها قد تشكّل خطراً على الصّحّة، لأنها لا تندفع بسهولة بعد أنْ تدخل إلى الجسم؛ فهي ذات شكلٍ شبيه بشكل الإبرة.

الغرافين Graphene: نتحدّث هُنا عن صفيحة رقيقة جداً سماكتها ذرّة واحدة من الكربون. وقد استعصت على العلماء لسنوات؛ لكنها في نهاية المطاف صُنعت في المختبر عام ٢٠٠٤ في معهد بوليتكنيك رينسيلار Rensselaer Polytechnic. ومن المؤمّل أن يكون الغرافين هو الخليفة المحتمل للنحاس والسيليكون في مجال

الإلكترونيات النّانوية. وتجدر الإشارة إلى أنّ الغرافيت ـ المادة الشائعة في صنع أغلب أقلام الرصاص ـ تتكوّن من طبقات لا تُحصى من الغرافين. كما برزت إلى الوجود أيضًا أوراق أكسيد الغرافين. ومن المتوقع أنْ تخلق هذه ثورة بحدّ ذاتها؛ لأنّ الموادّ الخفيفة الوزن قد تجد استخدامات في نطاق ممتدٍّ من التطبيقات.

أكسيد التيتينيوم: بات هذا الأكسيد النانومتريّ الأكثرَ شيوعًا وشهرةً بين الأكاسيد؛ بفضل سهولة تطبيقاته، وتنوّعها. ويَعدُ مسحوقه النّانويّ بأنْ يصبح منتَجًا تجاريًا مهمًّا، يستفاد منه ـ في المقام الأوّل ـ في صنع جيل جديد من واقيات أشعة الشمس، ومُستحضرات التجميل، والمواد البلاستيكية، وموادّ الطّلاء، التي تمتصّ معظم الأشعة فوق البنفسجية الضارّة، لتوفير قدر أكبر من الحماية. وثاني أكسيد التيتبنيوم ـ المعروف أيضًا باسم التيتينيا ـ هو المادّة المتوافرة بشكل طبيعيّ؛ وصيغته الكيميائية هي TiO_2. ومن أجل التوضيح، نذكر أنّ جسيمات أكسيد التيتينيوم يُمكن إنتاجها ببساطة بتسخين أملاح أساسها التيتينيوم قابلة للذوبان في الماء، مثل $TiOSO_4$، عند درجات حرارة تتراوح من ١٠٠ ° إلى ٢٥٠ ° سلسيوس.

الفلِزّات: أصبحت جسيماتُ الفلزّات النّانوية، بما في ذلك الذهب والفضة والپلاتين والفلزّات المغناطيسية مثل الحديد، شائعة ومشهورة؛ وكذلك الفلزّات الثقيلة، التيَ تشمل التنغستن W والمولبدنوم Mo. وهُنا دعنا نركّز قليلاً على التنغستن، الذي غدا سيء السمعة في العالم، بسبب استخدامه في الآونة الأخيرة في الحرب على غزة في فلسطين، ضد أهداف مدنية وغير مدنيّة. إنه من الصعوبة بمكان توليف الجسيمات النانوية من التنغستن أو المولبدنوم؛ لأن درجة حرارة انصهار كل منهما مرتفعة. ويجدر التنبيه على أنّ التحلُّل الحراريّ يُطبّق على نطاق واسع لإنتاج جسيمات التنغستن النّانوية. كما تستخدم في ذلك العمليات الكهْركيميائية؛ وكذلك نبضات قصيرة قوية من أشعة الليزر تحت الحمراء. فعندما يضرب شعاع الليزر قطعة من التنغستن، فإن ذلك يولّد حرارة كافية لإذابتها و/ أو تبخيرها؛ الأمر الذي يسبّب ما يشبه الانفجار المجهريّ، وهذا تنطلق بفعله بكل اتجاه قطع ساخنة للغاية في نطاق الميكرون أو النّانومتر.

وفي ظل هذا النوع من الحرارة الشديدة المركّزة، قد تتبخّر الذرّات ليتكثّف عدد منها من جديد؛ فتتكوّن جسيمات أصغر. وهذا الانفجار لا يختلف كثيراً من حيث المفهوم عمّا يحدث في أداة الانفجار الضئيلة داخل جسم الإنسان.

الجسيمات النّانوية لأشباه الموصلات: يتألف النوع الواحد من المواد النّانوية في الواقع من مادتين؛ مثل: الكادميوم والكبريت CdS، أو الكادميوم والسيلينيوم CdSe. وقد طوّر العالمان الكيميائيان المنجي باوندي Bawendi من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT وپول أليڤيساتوس Paul Alivisatos تركيبة ومرفقات كيميائية للبلورات النّانويّة. والمادة الناجمة كانت مادة ذات فجوات حُزم مباشرة Direct bandgap material. إن الجسيمات النانوية ـ أو كما تُسمّى النقط الكموميّة Quantum dots ـ تنتج الضوء تحت تأثير الإثارة الضوئية، لتعطي خطوطًا حادّة لألوان الطيف يعتمد لونها على حجم الجسيمات؛ وهذه الجسيمات معروفة بوصفها شعاراً للإنارة، أو علامة للتطبيقات الطبية الحيوية. فقد ارتبطت بالحمض النوويّ، والبروتينات، والمكوّنات الأخرى، لتصوير الخلية الواحدة أو الجزيء الواحد وتتبّعهما. بَيْدَ أنّها تعاني من مشكلات عدم التوافق الحيويّ؛ إذ إنها تشكّل تهديداً خطيراً بالتسمُّم بالفلزّات الثقيلة، مثل الكادميوم، والتّسمم بالسيلينيوم. علاوة على ذلك، فهي ذات رد فعلٍ في ظل الظروف المحيطة، وفي المذيبات الشائعة. هذا يستلزم تدبير طبقة من أكسيد السِيليكون للحماية. إنّ حجم الجسيمات التي تحققت ـ بما فيها طبقة الحماية ـ هو في حدود ٨ نانومترات. وهذا أكبر بكثير من حجم المسامّ الطبيعيّ في الخلية الحية؛ ما يسبب إشكالية في امتصاص الخلايا لهذه الجسيمات. ونظراً لأن الكادميوم هو أحد العناصر الثقيلة، فالجسيم أثقل بكثير من النظام الجزيئي النمطيّ أو أحد مكونات الخليّة. إنّ الجسيمات النانوية لكبريتيد الكادميوم CdS ذات أحجام مختلفة؛ وتُعَدّ من خلال تجمُّع غروي غير مألوف. ومن الممكن السيطرة على حجم الجزيئات: إما عن طريق إنهاء التفاعل الكيميائيّ في فتراتٍ زمنية مختلفة؛ أو عبر تغيير نسبة الكاتيونات إلى الأنيونات في خليط التفاعل.

السيليكون والسيليكا: تعدّ مادة السيليكون من أهم المواد المرتبطة بتطبيقات تكنولوجيا النّانو، لأنها تشكّل العمود الفقريّ لصناعة الإلكترونيات الدقيقة؛ عدا أنها أفضل الموادّ من حيث التوافق الحيوي. فهي أقلّ المواد سمّيّة؛ وهي تعدُّ بأن تكون التكنولوجيا الخضراء. لقد كان العالم كانهام Canham عام ١٩٩٠ أوّل من بيّن أن الضوء المرئي الأحمر المتلألئ Photoluminescent light (PL) يمكنه أن ينبعث من بلورات رقائق السيليكون عند درجة حرارة الغرفة؛ حين تُحفر أو تُحكّ كهْركيميائيّاً.

وقد حصل الباحث زين يماني، الذي يعمل الآن في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن KFUMP، على درجة الدكتوراة ضمن مجموعة نايفة لدفع الانبعاثات الناتجة من السيليكون المحفور إلى الجزء الأخضر من الطيف. وتُنتَج مجموعة سحرية من جسيمات السيليكون النانوية في مختبر نايفة بولاية إيلينوي الأمريكيّة من كُتل السيليكون؛ وذلك بموجب اختراع خاصّ في مجال التشتّت الكهْركيميائيّ. والمجموعة تتكوّن من جسيمات مستقرة عالية الإنارة أقطارها ١؛ ١,٧؛ ٢,٢؛ ٢,٩ نانومتر. وعلى عكس كُتل السيليكون، التي هي مادّة بليدة بشكلٍ مُذهل، فإنّ مجموعة جسيمات السيليكون النانويّة ذات كفاءة خارقة في إشعاع الضوء بالألوان الأحمر والأخضر والأزرق RGB؛ وتغطي الأجزاء الأزرق والأخضر والأصفر والأحمر من الطيف، على الترتيب، عندما تتعرّض للأشعة فوق البنفسجية الدّاكنة.

إنّ جسيمات السيليكون النانوية هي أقرب إلى كُرات الكربون (الفوليرين)؛ لكن، بعكس القشرة الفارغة لتلك الكُرات، فإنّ جسيمات السيليكون النّانوية مملوءة، وعلى سطحها هيدروجين. ويمكن أن تشكّل الجزيئات طوراً جديداً؛ أو ما يُعرف بالجزيء الفائق، الذي يُظهر سلوك المادة الصلبة، مثلما يُظهر سلوك الجزيء. وجسيمات السيليكون النانوية يمكن أيضًا إنتاجها من خلال تكثيف ذرّات السيليكون المحرّرة من مركّب حامل للسيليكون؛ إمّا في الطور السائل، أو الطور الغازيّ. لكنّ العمليات هُنا لا تقود إلى طريق المجموعة السحرية من الجسيمات المشار إليها آنفًا. علاوةً على ذلك، تحتاج جسيمات السيليكون النانوية بعد إنتاجها إلى معالجة بالهيدروجين أو الأكسجين؛ لتحقيق الاستقرار لتلك الجسيمات في مواجهة أي هجوم بيئيّ.

وفي إطار المساعي المبذولة لخفض كلفة إنتاج الجسيمات النّانوية، تمكّن فريق بحث جامعة إيلينوي (بقيادة الدكتور نايفة)، بالتعاون مع ليلى أبو حسّان من الجامعة الأردنية ومنى الشهابي من جامعة حلب وجون هوست Jon Host من شركة **داو DOW** للكيميائيّات، من تركيب جسيمات سيليكون نانوية ذات إنارة حمراء من حبيبات ذات رتبة أقلّ من السيليكون، مع الحصول على نتائج محسَّنة، مقارنة بتلك التي حُصل عليها من رقائق السيليكون. وقام هذا الفريق أيضًا بتوليف الجسيمات النانوية من السيليكات الخام؛ لكن بناتج منخفض إلى حدّ كبير.

وإضافة إلى أنها فائقة الإشعاع، فإنّ الأغشية المعاد تكوينها من مجموعة الجزيئات تُظهر خاصية الانبعاث المستحثّ، الذي هو شرط ضروريّ لتوليد أشعّة الليزر. إنّ أجهزة إشعاع ضوء السيليكون يمكن أن تؤدي في النهاية إلى الحصول على «ليزر على رقاقة»، وعلى جيل جديد من رقائق السيليكون، وإلى توسيع وظائف تكنولوجيا السيليكون من الإلكّترونيات الدقيقة إلى الإلكترونيات الضوئية والضوئيات البيولوجية.

إنّ تكنولوجيا جسيمات السيليكون النانوية تترتب عليها آثار تكنولوجية مهمّة، بسبب إمكانية دمجها في تكنولوجيا رقائق السيليكون الإلكترونية المتوافرة. فهي تكنولوجيا ذات قاعدة عريضة من التطبيقات الواسعة النطاق، التي تشمل الإلكترونيات (الذاكرة النانوية المنخفضة الطاقة، والترانزستورات)؛ والضوئيات (الكواشف الضوئية في مجال الأشعة فوق البنفسجية)؛ والتقنيات الضوئية والكهْرَضوئية (الخلايا الشمسية من السيليكون، والثنائيات الباعثة للضوء)؛ ومجسّات الموادّ (الغلوكوز، والدوپامين)؛ والمحفّزات وخلايا الوقود؛ والبطاقات الفلورية للطب الحيويّ.

وخلافًا لجسيمات السيليكون النّانوية المصنوعة من السيليكون النقيّ، فإن جسيمات السيليكا النانوية هي أساسًا كُرات مصنوعة من الزجاج النقيّ SiO_2. فهي تُنتج بشكل متزامن التحلل المائي، وتفاعلات التكثيف للمركّبات الفلزيّة، التي تحمل السيليكون والأكسجين Alkoxides. وهي ذات أهمية بالنسبة لتطبيقات صناعية شتّى؛ بما في

ذلك المواد المحفزة، والأصباغ، والمواد الصيدلانية. كما تستخدم في صنع الركائز Substrates الإلكترونية، وركائز الأغشية الرّقيقة، والعوازل الكهربائية، والعوازل الحرارية، ومستشعرات الرّطوبة. من ناحيةأخرى، فإنّ جسيمات السيليكا ـ خاصة الجسيمات المتفرّقة الأحاديّة ـ مرشحة للتطبيق في التلميع الكيميائيّ الميكانيكيّ. لذلك، من المهم تطوير عمليات تنتج عنها جسيمات سيليكا عالية النقاوة، بتوزيع حجمي متقارب. وتجدر الإشارة إلى أنّ السيليكا التجاريّة المتوافرة حاليّـًا هي ذات توزيع حجميّ واسع، ومستويات متفاوتة من الملوّثات الفلزيّة.

الأغشية والسبائك النّانويّة

يتطلب الإنتاج الواسع النطاق للأجهزة التي تستخدم الموادّ النانومترية التعاملَ مع عدد كبير جداً من لَبنات النّانو؛ أكثر بكثير من 10^{12} / سم^{2}. إنّ لبنات النانو المستخدمة شديدة التفاوت. فهي تتراوح من الجزيئات السطحية، وكُتل المبلمرات التساهمية؛ إلى جسيمات الشبيكات البوليمريّة، وأشباه الموصلات، والأكاسيد الفلزيّة. وإنّ مهمة وضع كل لبنة من تلك اللبنات في موضعها الصحيح في آن من شأنها أن تستمر إلى الأبد. وسوف يُختصر الوقت بالتأكيد، إذا اصطفّت الجسيمات النانوية ذاتيّـًا لتعثر على مواضعها من تلقاء نفسها.

الاصطفاف الذّاتيّ Self-Assembly

إنّ خاصيّة التجمع الذاتيّ الطبيعيّ، أو ما يُعرف بالاصطفاف الذاتيّ، ظاهرة مفيدة في تكنولوجيا النّانو. فكُتل المبلمرات التساهمية يمكنها توفير مساحة واسعة للتجمع الذاتيّ بنسق نانويّ مرتّب؛ في نطاق يتراوح بين ١٥ و ٢٥ نانومتراً. ومن الممكن استخدام الحمض النووي لإحداث اصطفاف للجسيمات النانويّة. وهذا يعتمد على النوعية العالية للترابط الهيدروجيني A-T و G-C، وعلى آلية التعرّف الخاصة بالحمض النووي. من ناحية أخرى، يمكن استخدام تيار خارجيّ للتحريض على التجمع الذاتي

للمكونات الجزيئية، كالجسيمات النانوية، في مجموعة متنوّعة من الأنساق؛ مثلما بيّن الباحث صحراوي شعيب من فريق الدّكتور نايفة في جامعة إيلينوي. وإنّ هذه التقنية في الأساس ليست سوى تجمّع ذاتي في ظل ظروف متفرّقة مفتوحة؛ على نحو مشابه لاصطفاف الكرات الموصلة تحت تأثير التيار الكهربائيّ. وفي هذا الصدد، حُصل على جسيمات السيليكون النانوية متجمّعة على هيئة شبكات أشبه بالشجر. كذلك، استخدم التفاعل الخاص بين الذهب والكبريت لإيجاد مساحة واسعة للاصطفاف الذاتي. على سبيل المثال، فإن طبقة واحدة من ألكانثيول Alkanethiol تتجمّع على هيئة حزم مرصوصة على الذهب في الشبيكة البلورية (111)؛ وهذه تسمّى الطبقات الأحاديّة المتجمعة ذاتيّاً Self-assembled monolayers (SAMs). وبيّن الباحث شعيب أنه عندما تكوّن جسيمات السيليكون النانوية طبقات بالغة الرقة على السطح، فإنها تنقشر وتلتفّ؛ مشكّلة أنبوبًا رفيعًا. أما الباحثون الدويان والصالحي والهوشان من معهد الملك عبد الله لتكنولوجيا النانو في جامعة الملك سعود، فقد قاموا بطمر جسيمات نانويّة من السيليكون في مصفوفات زجاجية؛ ما أدّى إلى جعل الكثير من التطبيقات ممكنًا في مجال الضوئيات.

ترسيب طبقة ذريّة Atomic Layer Deposition (ALD)

هذه تقنية لتكوين طبقة رقيقة، توفر إمكانية فريدة لتغطية الأجسام المعقدة الثلاثية الأبعاد بدقة. وقد طُوّرت هذه التقنية في مختبر آرغون الوطنيّ Argonne National Laboratory. في هذه الطريقة، يُعرّض الجسم لنبضات متسلسلة من غاز متفاعل، لتكوين طبقة حماية رقيقة على سطح الجسم. وتتوقف التفاعلات الكيميائية بين الغاز والسطح بصورة طبيعية، بعد الانتهاء من تشكيل طبقة أحادية ذات سماكة مقدارها جزيء واحد بالضبط.

إنّ تقنية الترسيب هذه يمكن باستخدامها ترسيب مجموعة متنوعة من المواد؛ بما فيها الأكاسيد، والنيتريدات، والكبريتيدات، والفلزّات. وإن إنتاج خلايا شمسية أكثر

كفاءة وأقلّ كلفة، ومواد إضاءة في الحالة الصلبة، ومحفّزات صناعية، كلها تطبيقات ممكنة لترسيب الطبقات الذرية، إضافة إلى غيرها من التطبيقات؛ مثل: تحسين الموصلات الفائقة، وتكوين أغشية الفصل.

اصطفاف الجسيمات النانويّة/مركّبات الأنابيب النانويّة

من الأمثلة المثيرة جداً للسبائك النانوية والاصطفاف الذاتيّ ما وُجد في فحص حديث لسيف دمشقيّ قديم. فقد اكتشف بيتر پاوفلر Peter Paufler وزملاؤه في جامعة درسدن التقنيّة بألمانيا مؤخّراً أنابيبَ نانويّة كربونيّة في البنية المجهرية لسيف مبارزة دمشقيّ، يعود إلى القرن السابع عشر.

لقد اختُرع السيف في دمشق، وكان السيف الأقوى في العالم. ومع ذلك، كان خفيفًا جداً ورقيقًا؛ كما كان حاداً وصُلبًا للغاية. كان يقطع خيط الحرير من دون أن يثنيَه، ويشقّ ملاءات حريريّة بمجرد أن تقع عليه. كتب پاوفلر ورفاقه: «أنابيب النّانو الكربونيّة لم تَعُدْ مفخرة القرن الحادي والعشرين لعلماء الموادّ. ويبدو أنّ هذا الاكتشاف كان قد أجهض عن غير قصد على أيدي حدّادي سيوف العصور الوسطى الإسلامية، الذين صلّبوا الأنصال في دمشق ليعلّموا الفرنجة المعنى الحقيقي للفولاذ البارد، حين كانوا يتقاتلون في الأراضي المقدسة. لقد التقطت الصور بواسطة أقوى المجاهر؛ وأظهرت أن الأنابيب النانويّة داخل سيف دمشق اصطفّت بشكل سلاسل. تلك الأنابيب النانويّة هي التي تجعل السيف على ما هو عليه. وهذه هي تكنولوجيا النّانو في أفضل حالاتها».

إنّ الباحثين في الوقت الحاضر ـ ومنهم الباحث تيسير نايفة في ولاية كليڤلاند الأمريكيّة ـ يُجرون البحوث لدراسة كيفية إضافة الأنابيب النّانوية إلى الفلزّات، فضلاً عن المبلمرات والمصفوفات الزجاجية، لتطبيقات تتعلّق بالطيران. علاوة على ذلك، فإنّ دراسات مهمّة تُجرى على قدم وساق لتحديد كيفية قذف الفلزّ أو البوليمر بالأنابيب الجزيئية النّانومترية وهي مصطفة. إنّ صفّ الأنابيب من شأنه أن يضفي

صلابة إضافية وموصليّة كهربائية عالية، وكذلك موصليّة حراريّة للمركّب؛ مقارنة بالمواد المخلوطة خلطًا عشوائيًا.

الطّباعة الحجرية النّانويّة/التصوير النّانوي: أصغر كتابة على الجدران في العالم

إن صناعة الإلكترونيات الدقيقة متقدّمة جدًا في مجال تصنيع النبائط الصغيرة على نطاق واسع؛ مثل: الدّارات المتكاملة، أو الأنظمة الكهْرَميكانيكية النانوية NEMS. ولتحقيق ذلك، تستخدم الصناعة مجموعة من الطرق المتقدّمة؛ مثل: الطباعة الحجرية الضوئية، والطباعة الحجرية باستخدام الأشعة فوق البنفسجية الشديدة EUV، والطباعة الحجرية باستخدام الأشعة السينية. وتجدر الإشارة إلى أن تقنيات الطباعة الحجرية النّانويّة كانت تتقدّم ببطء في الصناعة. وكان التقدّم الأكبر تقنيّـًا هو توليد شعاع من الإلكترونات أو الأيونات، لإنتاج نمط أو حرق لطبقة واقية بوليمرية سماكتها ١٠ نانومترات أو أقلّ. وثمة أدوات أخرى أدخلت حديثًا من شأنها أن تسمح بالتعمُّق في النطاق النانومتريّ التنميط من خلال مجموعة من مجاهر المسح الفاحصة. فعلى سبيل المثال، يمكن التّلاعب بالذرّات الفردية باستخدام المسح بطرف مجهر حفر الأنفاق STM؛ في حين يجري في الوقت ذاته تصويرها أو رؤيتها. إنّ الأنماط الأصغر "Graffiti" المكتوبة باستخدام هذه التقنية في شركة **آي بي إم** IBM، وجامعة إيلينوي (على يديْ كاتب هذه الدراسة، الدّكتور نايفة)، وشركة **هيتاشي** قد عُرضت على غلاف المجلة البريطانية «**نيو سايَنْتست** *New Scientist*». والطباعة الحجرية النانوية Dip-Pen هي أوّل تكنولوجيا في هذا المجال متاحة تجاريًا، تقوم أساسًا على مجهرية القوة الذريّة. غير أنّ هذه الأجهزة تتّسم بالبُطء الشديد؛ لأنها تتطلب حركة طرف من التنغستن أو الذّهب بكتلة محدّدة. وهذه السرعة لا تتوافق مع السرعة التي يمكن للمرء أن يحرف بها مسار الضوء، أو الإلكترونات، أو الأيونات. وقد قيل إنّ من الممكن تحسين دقة التنميط باستخدام هذه الأجهزة. فمثلاً،

يمكن تخزين محتويات مكتبة الكونغرس كاملة على قرصٍ واحد؛ لكنّ الأمر سيستغرق الوقت كلّه إلى الأبد لفعل ذلك.

التطبيقات «العاديّة»

ثمّة منتَجات استهلاكية متاحة بالفعل توظف تكنولوجيا النّانو. فقد أحدثت هذه التكنولوجيا فرقًا في الكثير من التطبيقات الناجحة؛ بما في ذلك ضمادات الجروح والحروق، وأدوات ربط الأسنان، وأجهزة تنقية المياه، والملابس ومراتب النوم الخالية من البقع، وشُوك الأكل والملاعق والصحون والأواني، والملابس التي لا تتسخ ولا تصبح رطبة لأنها مغلّفة بمادة نانوية. كما توجد مواد أخرى في السوق؛ كالمُحفِّزات الصناعية، والطبقات الواقية والمخففة من الوهج في النظارات، والطّلاءات التي تسهّل تنظيف الزجاج، وواقيات أشعة الشمس ومستحضرات التجميل، ومُعينات الصعود إلى المرْكبات، وواقيات الصدمة والمحولات المحفّزة في السيارات، وكُرات المضرب الطويلة العمر، ومضارب التنس الأقوى والأخفّ وزنًا. ويبدو أنّ المستفيد الأول من تكنولوجيا النّانو هو الصناعة الكيميائية. ويستفيد الكثير من الشركات أو المبتدئين من بيع مواد الجسيمات النّانوية، بوصفها سلعًا تجاريّة في سوق اقتربت حتى الآن من ٥٠٠ مليون دولار.

التطبيقات المتقدّمة

نودّ أن نعرض الآن بعض التطبيقات التي يجري التفكير فيها. وهي ذات أهمية حاسمة في حلّ المشكلات الاجتماعية، في مجالات الصحة والطاقة والإضاءة والغذاء والنقل؛ مثل: بناء أسرع الترانزستورات وأصغرها، والمستشعرات الطبية الحيوية، وتوصيل العقاقير، والكواشف الضوئية، وأجهزة العرض... إلخ.

تصنيع الجيل الجديد من الرّقاقات

وضعت صناعة أشباه الموصلات نصب عينيها هدفًا طَموحًا يتمثّل في مواصلة

توسيع نطاق قانون مور للأعوام الخمسة عشر القادمة، للحصول على مقاسات تقلّ عن ١٠ نانومترات كحدٍّ مسموح به.

وهنالك مجموعة كبيرة من التحديات التي تواجهها الصناعة لتحقيق هذه الأهداف. هذه التحديات تشمل بالتأكيد تصنيع العناصر المطلوبة بأحجام تدخل ضمن نطاق تكنولوجيا النّانو. لقد عُقدت ورش عمل عدة في السنوات الأخيرة، اجتمع فيها ذوو الاختصاص من الحكومات وقطاع الصّناعة والأوساط الأكاديمية، لتناول بعض هذه التحديات. ومن بين الأسئلة التي تطرح نفسها علينا: هل بتّنا نقترب من الحدّ النهائيّ في استخدام السيليكون؛ بحيث أصبح لزامًا علينا أن ننتقل إلى مواد بديلة في بناء جيل جديد من الرقائق؟ هل ما زال ثمة متسع للتكنولوجيا المعتمدة على السيليكون؟ أنستطيع ترك السيليكون وراءنا؟ شملت الاستنتاجات محاورَ ثلاثة؛ هي:

- إدامة النطاق المكمّل لتكنولوجيا التصنيع السيليكونيّة التقليدية CMOS، وتوسيعه إلى الحدّ النهائي الممكن.
- توفير البديل المناسب والمتدرّج من المواد المستدامة غير الخطرة العالية الأداء، وتقنيات التصنيع، لبدائل تقنية CMOS، القائمة على السيليكون.
- إيجاد خيارات لدمج الموادّ الوظيفيّة Functional، غير المتجانسة، المهندَسة نانويّـًا، بتكنولوجيا CMOS القائمة على السيليكون؛ ما يشكّل مسارًا لتسليع Commercialization الابتكارات في تكنولوجيا النّانو.

وتشمل المواد والأدوات التي يُنظر فيها حاليّـًا: تكنولوجيا السيليكون التقليدية، والسيليكون المشدود، والحوسبة الكموميّة والجزيئية، وسبائك الجرمانيوم-السيليكون، والبوابات الفلزيّة غير السيليكونية ذات ثابت عزل (K) مرتفع، وأنابيب ذات أساس كربونيّ (أنابيب الغرافين)، والسيليكون ذا التركيب النّانويّ، وأشباه الموصلات المركبة III-V (InSb, InAs, InGaAs)، وعوازل InAlAs، وركائز الجرمانيوم شبه الموصلة. وإضافة إلى هذه التحدّيات، فإنّ ثمة طلبًا متزايدًا على صنع

الرقائق الموثوقة. لقد أبرمت شركة AMD اتّفاقًا في آذار/ مارس من عام ٢٠٠٩، تشترك بموجبه مع إمارة أبو ظبي في تأسيس شركة جديدة لصناعة الرّقائق. وتستثمر أبو ظبي ٤,٣ مليار دولار في هذا المشروع. وستقوم الشركة ببناء موقع في نيويورك، وتطوير آخرَ في درسدن بألمانيا؛ وكذلك بناء موقع آخر جديد في أبو ظبي عام ٢٠١٥. ويبقى أن نرى ما إذا كان هذا المشروع سيجعل أبو ظبي مَركَزًا آخَرَ للابتكار التكنولوجي؛ أي شارع «سانْدهِل Sand Hill» آخر.

تقليص الترانزستورات

على مدى السنوات الخمسين الماضية، أصبحت الحواسيب الإلكترونية أكثرَ قوّة؛ في حين تقلّص حجمُ الترانزستور، الوحدة الفَرْعية الأساسية. والحقّ أنّ صناعة الإلكترونيات الدقيقة باتت متقدّمة جدًا في الأجهزة الصغيرة المصنعة؛ مثل: الدارات المتكاملة، أو الأنظمة الكهْرَميكانيكية النّانويّة. ولبلوغ هذا الهدف، استخدمت الصناعة مجموعة متنوعة من الطرق المتقدّمة؛ منها الطباعة الحجرية الضوئية. وقد غَدَت هذه الطريقة هي السائدة في مجال التنميط، منذ بزوغ عصر أشباه الموصلات؛ وهي قادرة على إنتاج أنماط فَرْعية في حدود ١٠٠ نانومتر، باستخدام موجات قصيرة جدًا ذات طول موجيّ يبلغ ١٩٣ نانومترًا. إن استخدام الأشعة فوق البنفسجية الشديدة للطباعة الحجرية هو شكل من أشكال الطباعة الحجريّة الضوئية باستخدام موجات فائقة القصر (١٣,٥ نانومتر). وثمة تقنيات أخرى للطباعة الحجرية النّانوية، تشمل الطباعة الحجرية بالأشعة السينية، التي من الممكن زيادة مَيْزها Resolution الضوئيّ [أي الفصل بين النقط] ليصل إلى ١٥ نانومترًا؛ وذلك باستخدام موجات قصيرة بطول نانومتر واحد للإنارة. والعمل ما زال مستمرًا على أداة للطباعة الحجريّة تستخدم سلسلةً من المرايا الرّقمية الصغيرة، لتتلاعب مباشرة بالضوء المنعكس؛ من دون الحاجة إلى تدخّل القناع.

ومع ذلك، فإنّ قوانين ميكانيكا الكم، والقيود المفروضة على تقنيات التصنيع، قد توقف قريبًا الانخفاض المتزايد في أحجام الترانزستورات التقليدية [من نوع «تأثير

المجال» FET] السائرة حاليّاً. إنّ كثيراً من الباحثين في مجال الجيل القادم من الإلكترونيّات يعتقدون أنه، خلال السنوات الـ(١٠ – ١٥) المقبلة، كلما تقلّصت الترانزستورات من أبعادها الحالية البالغة ما يتراوح من ٢٥٠ نانومتراً إلى ١٠٠ نانومتر أو أقلّ، فإن تصنيع الأجهزة سيصبح أكثر صعوبة وأعلى كلفة. أضف إلى ذلك أنّها لربّما لن تعمل بفاعلية في الدّارات الإلكترونية المتكاملة الفائقة الكثافة.

وعندما يصل المرء إلى حدود الحجم الخاصة بديناميكا الكمّ لحركة الشحنات، فإنها تنطلق بقوّة وتبدأ بالسيطرة. ويمكننا الاستفادة من التأثيرات الكموميّة المختلفة في بناء مفتاح تبديل إلكتروني نانومتريّ، لاستعماله في إنشاء حواسيبَ إلكترونية متكاملة فائقة الكثافة، بناءً على التأثيرات الكموميّة أيضًا. على صعيد آخر، تقوم مجموعات كثيرة في المؤسسات الأكاديمية، وفي الصناعة، بإجراء تجارب على جسيمات السيليكون النانوية. فوضع الباحثون هذه الجسيمات في أحشاء الترانزستورات، للارتقاء بها إلى أجهزة الحالة الصلبة ذات التأثيرات الكموميّة، وذات الإلكترون الواحد. لقد أصبح الترانزستور رقميّاً، ويعمل بتيار منخفض للغاية في حدود إلكترون واحد؛ كما أصبح أسرع، وبات يحتاج إلى طاقة أقلّ بكثير للتشغيل.

التّرانزستورات النّانويّة المشدودة Strained Nano Transistors

عند هذه النقطة في التصغير، وجد بعض العلماء أنّ ثمّة مجالاً لتحسين سرعة الترانزستور، من دون جعله أصغر حجمًا. ويمكننا أن نجعل الترانزستور يعمل أسرع إذا شددناه قليلاً؛ بحيث تنزاح ذرّات السيليكون في أحشائه بعض الشيء عن مكانها الطبيعيّ في البنية الذريّة الداخلية. وهذا أمر مشابه لآليّة شدّ الصفيحة البلاستيكية. عندها، يوصف الترانزستور أو السيليكون بأنه مشدود.

وفي التصنيع الفعليّ للأجهزة، فإنّ السيليكون لا يُشَدّ ميكانيكيًا؛ وإنّما يتمدّد ببساطة من خلال إنمائه فوق مادّة تكون ذرّاتها أكثر تباعُدًا من ذرّات السيليكون، مثل الجرمانيوم. إنّ تباعُد ذرّات الجرمانيوم يفوق بنسبة مئوية صغيرة (٤٪) تباعد ذرّات السيليكون؛ وهذا كاف. لقد أُنجز ذلك من خلال إنماء ركيزة مصنوعة من سبيكة من

السيليكون ـ الجرمانيوم SiGe؛ ومن ثمّ زراعة طبقة رقيقة من السيليكون فوقها. وتجدر الإشارة إلى أنّ وضع طبقة السيليكون على ركيزة السيليكون ـ الجرمانيوم يؤدّي إلى شدّها. فعلى سبيل المثال، عند اصطفاف الذرّات في طبقة السيليكون مع ذرّات طبقة السيليكون ـ الجرمانيوم، التي تكون فيها الذرّات أكثر تباعداً، فإنّ الرّوابط بين ذرات السيليكون تصبح مشدودة (متباعدة)؛ فيتكون ما يطلق عليه اسم السيليكون المشدود. وعندما تتحرّك ذرّات السيليكون بعيداً عن بعضها بعضًا، فإنّ القوى الذريّة بينها تنهار. وتتداخل هذه القوى مع حركة الإلكترونات، أو تدفق التيار في داخل الترانزستور. ومن ثمّ، فإن الانخفاض في القوى يسمح للإلكترونات في الرّقاقة بالتحرّك بشكل أسرع؛ ما يؤدي إلى أداء أفضل للرّقاقة الإلكترونيّة، وانخفاض في استهلاك الطاقة. ويمكن أن تتحرّك هذه الإلكترونات بشكل أسرع بنسبة ٧٠٪؛ ما يسمح لترانزستورات السيليكون المشدودة بأن تعمل بنسبة ٣٥٪ أسرع من مثيلاتها غير المشدودة.

وُصف هذا التأثير على أيدي باحثين في معهد مساتشوستس للتكنولوجيا (حسن نايفة وديمتري أنطونيادس Demetri Antoniadis). وقد تحقّق تحسن كبير في هذه التقنية. وفي الآونة الأخيرة، وُضعت هذه التقنية المحسّنة موضع التنفيذ في أجهزة **آي بي إم** IBM على أيدي الباحث حسن نايفة وزملائه.

ترانزستورات الجرمانيوم النّانوية على السيليكون

تتحرّك الإلكترونات في الجرمانيوم النقيّ أسرعَ مما تتحرك في السيليكون؛ وبالنّتيجة، فسيكون من المعقول أن نتحوّل من ترانزستورات السيليكون إلى ترانزستورات الجرمانيوم. وهذا هو السبب في بروز الجرمانيوم مرشحًا قويّـًا لتعزيز السيليكون، إن لم نقُل الحلول محلّه، في تطبيقات الأجهزة الإلكترونية. ومع ذلك، فإنّنا نودّ أن نبقي على ركيزة السيليكون؛ لأنّ هنالك احتياجات أخرى مهمّة، أو حتى ماسّة، لتلك الركيزة. وهذا يشمل متطلبات أخرى للأجهزة، مثل الكلفة وعدم الاستقرار البيئي؛ إذ إنّ أكسيد الجرمانيوم يذوب في الماء.

يتطلّب الاحتفاظ بركيزة السيليكون نموّ طبقة رقيقة من الجرمانيوم عليها. مع ذلك، فإن التكامل في تقنية السيليكون هذه يُعيقه عدم التطابق في مكوّنات الركيزة؛ إذ

إنّ المسافات بين الذرّات في الجرمانيوم [كما ذكرنا] أكبر منها في السيليكون بنسبة ٤٪. وعدم التطابق هذا يجعل النموّ تحت هيمنة ما يُسمّى التجزُّر Islanding، والانخلاعات Dislocations النشاز. وعادة تتشكّل هذه الانخلاعات عند التداخل بين ركيزة السيليكون وطبقة الجرمانيوم، منتهيةً عند سطح تلك الطبقة على هيئة خيوط من الانخلاعات؛ ما يؤدي إلى تدهور أداء الجهاز. في الآونة الأخيرة، طوّرت مجموعة بحث في جامعة ستانفورد (عمّار نايفة وكريشنا سراسوات Krishna Saraswat) أساليبَ مبتكرة لحلّ هذه المشكلة. وفي إطار هذه الأساليب، ينمو الجرمانيوم على السيليكون، بالرّغم من عدم التطابق الشبكيّ الكبير بينهما (٤٪)؛ وذلك بدمج الهيدروجين في مرحلة النموّ بالحرارة. وهذا يقلّل من حاجز انتشار الجرمانيوم، ويحسّن بصورة كبيرة خشونة السطح؛ عدا أنّ من شأنه السماح بالتكامل مع التكنولوجيا القياسية الإلكترونية للسيليكون، للتطبيقات العالية الأداء.

لقد استخدم فريق ستانفورد بنجاح تقنية النمو المتغايرة غير المألوفة، للحصول على ترانزستورات عالية الأداء، مصنوعة من طبقات من الجرمانيوم النّامية مباشرة على ركائز من السيليكون.

ترانزستورات «موسفِت MOSFET» النّانوية

تواجه الدارات المتكاملة العالية الكثافة HDICs تحدّيات في تطوّرها الرّامي إلى الوصول إلى الأداء العالي للأجهزة؛ فأداء تلك الدارات تحسّن بتصغير أبعاد الترانزستور، التي هي الآن أبعاد نانوية. لقد قادت الأبعاد المنخفضة إلى هندسة الأجهزة في إطار تقنيات، مثل: AHLATID، وLDD، والإمالة بزاوية كبيرة، وLATID، وترانزستورات موسفت MOSFET المهندَسة المصرف Drain. ودخلت تقنية موسفت أونو ONO MOSFETS الميدان لرفع معامل انهيار العزل الكهربائي للبوابة، الذي يكون أكثر وضوحًا باستخدام مواد ذات ثابت عزل كهربائي مرتفع؛ مثل أكسيد الهافنيوم HfO_2. وإلى جانب ترانزستور موسفت المهندَس، ثمة تقنية تدعى السيليكون على العازل SOI؛ وهي تقنية بديلة للتغلب على ظاهرة تأثيرات القناة القصيرة (لا

سيما الناقلات الساخنة) في الدارات المتكاملة العالية الكثافة. إن نبائط تقنية SOI يمكن أن تكون ذات بوابة مفردة أو مزدوجة؛ مستطيلة أو محيطية. ولترانزستورات موسفت الكبيرة ميزة تتضمّن التطعيم على شكل هالة، للحدّ من تأثير التأين قُرْبَ مناطق التّصريف.

لقد أُدخلتْ تقنيات جديدة في مجال ترانزستورات موسفت النّانوية. وإنّ ترانزستورات موسفت الفائقة الرّقّة وترانزستورات موسفت البالستية، التي تعتمد فيها نماذج النقل الإلكترونية على النقل البالستي، هي المرشحة للاستخدام في الدّارات المتكاملة العالية الكثافة في مستقبل الأيام. وثمة بديل آخر لترانزستورات تأثير المجال النانوية NanoFETs، مع أنه ما زال غير مستعدّ على الإطلاق للاندماج في الدّارات المتكاملة العالية الكثافة؛ ألا وهو ترانزستور موسفت ذو الأنابيب النانوية الكربونيّة. وقد لوحظ الأمر ذاته في حالة الترانزستورات الجزيئية، التي ما زالت قيد الاستكشاف والتطوير.

أجهزة الذّاكرة النّانوية

شاع استخدام ذاكرة «الفْلاش Flash» ـ التي هي ضَرْب غير متطاير Nonvolatile من الذاكرة، لا يحتاج إلى طاقة لتخزين المعلومات ـ بصورة متنامية في الأجهزة الاستهلاكية. واليوم، فإنّ أجهزة الفلاش هي أجهزة تخزن المعلومات عن طريق تطبيق مجال كهربائيّ على «بوّابة عائمة»؛ وهي في الأساس قطعة من السيليكون المتعدّد البلورات في مركز ترانزستور. هذه البوابة محاطة بمادة عازلة تحتاج إلى أن تكون سميكة نسبيّاً؛ بحيث لا تسمح العيوب الصغيرة فيها للشحنة بالتسرّب. نتيجة لذلك، فإنّ جهازاً مثل «الآيپود iPod» النانوي، الذي يستخدم الفلاش بشكل أساسي ويحزم ٤ غيغابايت من الذاكرة ضمن إطار صغير، لا يزال يحمل الكثير من المواد غير الفعّالة.

إنّ حلول الذّاكرة التقليدية الحالية هي بصدد الوصول إلى حدودها الآن؛ سواء من حيث السعة، أو السرعة، أو متطلبات الجيل المقبل من الاتصالات المتنقّلة. لقد بات «التحجيم» الآن مسألة خطيرة لصناعة الذّاكرة. فبحلول عام ٢٠١٠، توقّعت الأسواق

النّانوية بروز أربعة قطاعات رئيسية؛ هي: MRAM، وأوڤونيك Ovonic، والذاكرة المجسّمة، وذاكرة البلورات النانوية.

إنّ أحد أبرز حلول تكنولوجيا النّانو يتمثّل في تكنولوجيا جسيمات السيليكون النّانوية، التي كان أوّل من اقترحها تيواري Tiwari وحنفي من شركة **آي بي إم IBM**. وتَستبدل هذه التكنولوجيا ببوابة السيليكون الصُّلب عددًا كبيرًا من بلّورات السيليكون الصغيرة، المفصولة بعضها عن بعض بكميات ضئيلة من المواد العازلة. والنتيجة هي أنّ العزل المطلوب أقلّ بكثير؛ بحيث تحتل الذاكرة نصف المساحة. بعبارة أخرى، فإنّ الأداة ذات الأساس الفلاشيّ تستطيع حَمْل مثْلَي المعلومات. إن تقليص العزل يقلّل أيضًا من الجهد اللازم لتخزين المعلومات. وهذا يجعل دمج ذاكرة الفْلاش أسهل بكثير مع معالجة المعلومات على الرّقاقة نفسها؛ الأمر الذي يخفّض التكاليف. ويمكن أن تتيح تقنية ذاكرة الجسيمات النانويّة وضع ذاكرة غير متطايرة في رقاقة وحدة المعالجة المركزية؛ ما يزيد من زمن الوصول إلى البيانات، ويقلل الطاقة اللازمة وأعداد الرّقاقات.

وثمّة مجموعات وشركات عدّة تتسابق لتنفيذ تكنولوجيا جسيمات السيليكون النّانوية. فقد بدأت شركات مهمة؛ مثل: **إنتل Intel**، و**فريسكيل Freescale**، و**ميكرون Micron**، و**سامسونغ Samsung**، و**إس تي مايكرو إلكترونيكس STMicroelectronics** ترسخ قواعد التكنولوجيا الجديدة لحقبة ما بعد الفلاش؛ وهي تميل إلى استخدام الذّاكرات الأوڤونيّة Ovonic، وذاكرات البلورات النّانوية على نحو مُتنامٍ. وقد أنتجت، نموذجًا لخلايا الذاكرة، أجهزة ذات مواسعات «فلزّ ـ أكسيد ـ شبه موصل MOS»، تحتوي على الأجزاء الخارجية المنتَجة. وهي عبارة عن جسيمات سيليكونيّة نانوية متطابقة ذات حجم ثابت، وكروية الشكل في حدود نانومتر واحد. أُنجز ذلك على أيدي فريق مشترك من معهد ماساتشوستس MIT (أسامة نايفة وديمتري أنطونيادس)، ومن جامعة إيلينوي في إربانا ـ شامپين (كيڤن مانتي Kevin Mantey ومنير نايفة)، لاستخدام تلك الأجهزة في ذاكرات EEPROM الفلاشية في قادم الأيّام؛ من دون إجراء تغييرات في عملية التصنيع القياسية بتقنية CMOS. وباستخدام حجم

ثابت للجسيمات في حدود نانومتر واحد، عَرَضَ [فريقُنا هذا] خصائص أجهزة الذاكرة النّانوية المثالية؛ ممهّدًا الطريق أمام اندماج جسيمات السيليكون النّانوية في قاعدة CMOS السيليكونية القياسية، مع خفض المقاس إلى نانومتر واحد.

الاتصالات على الرّقاقة الواحدة ومن رقاقة لأخرى

كلّما أصبحت الأجهزة أصغر وأصغر، باتت أسلاك التوصيل الفلزيّة هي العاملَ المحدِّد وعنقَ الزّجاجة. والبديل هو الرّبط الضوئي لتبادُل البيانات على الرّقاقة، الذي يشكّل موضوعًا جديرًا بالاهتمام للتغلّب على المخاوف المتعلقة بالسرعة، وضمان سلامة الإشارات، بالوُصلات الكهربائية في المستقبل. وهنالك جهد موصول لتطوير أجهزة ذات كفاءة عالية تقوم على استخدام موادّ نانومتريّة، مثل أجهزة الاستشعار النّانوية والكواشف الضوئية، لتطبيق الربط الضوئي من رقاقة لأخرى، ومن لوحة لأخرى. وكان من المنتظر بحلول عام ٢٠١٠، عندما تتجاوز المعالجات ترددات توقيت مقدارها ١١,٥ غيغاهيرتز، أن تكون ثمة حاجة إلى الروابط الضوئية للخروج من عنق الزجاجة؛ فيما يتعلق بالاتصال من رقاقة لأخرى، ومن لوحة لأخرى. علاوة على ذلك، فإنّ أحد أهمّ العوامل التي تحدّ من أداء المعالجات في المستقبل، وتستهلك القسط الأكبر من طاقة المعالجة، هو شبكة توزيع نبضات التوقيت. وهنالك بديل لشبكات التوزيع الكهربائية، يتمثّل في استخدام شبكة للتوزيع الضوئي على المستوى العالمي. ويمكن توزيع الضوء على مستقبلات متعدّدة عبر الرّقاقة بانحراف منخفض. وإذا أمكن تحويل هذا الضوء بكفاءة إلى إشارة كهربائية، عندئذ تصبح هذه الفكرة بديلاً مُجديـًا.

إنّ التقنيات الرّاهنة للكواشف الضوئية والبواعث الضوئية تستخدم أنظمة III-V، مثل GaAs. ولأن الكواشف السيليكونية استُعملت بشكل كبير في تقنية CMOS السيليكونية التقليديّة، فإنّ بذل الجهود من أجل تخفيض الكلفة المرتبطة باستخدام هذا النوع من الكواشف يبدو ذا أهمية كبيرة؛ مقارنة بالتوجُّه إلى استخدام كواشف غير سيليكونية. وفي الآونة الأخيرة، حسّن باحثو شركة **آي بي إم IBM** تكنولوجيا الكواشف السيليكونية. فقد دمجوا بقدر كبير من التناغم كاشفًا ضوئيّـًا يحقق معدّل كشف عن البيانات أعلى بكثير (١٠ غيغابايت في الثانية)؛ مقارنةً

بالكواشف الضوئية السيليكونيّة السابقة. وبذلك، مهّدوا الطريق أمام استخدام الرّبط الضوئي من رقاقة إلى أخرى، ومن لوحة إلى أخرى. إنّ أنظمة الكشف الضوئي النّانوية المبنيّة على استخدام طبقات بالغة الرّقة من السيليكون والجرمانيوم وجسيمات GeSi النّانوية أو النقط الكموميّة عُرضتْ مؤخّرًا، لكن بفاعلية متوسّطة. وقامت مجموعة نايفة في جامعة إيلينوي ببناء كواشف ضوئية نانوية من خلال ترسيب طبقة رقيقة بسماكة نانومتر واحد من جسيمات السيليكون النّانوية، على ركيزة سيليكونية من النوع الموجب، بفاعلية تحويل جيّدة، تحت الإستشعاع Irradiation فوق البنفسجيّ.

الليزر على رقاقة

أمّا وأن الضوء يمكن أن ينبعث من جسيمات السيليكون النّانوية بكفاءة، فقد كان لورنزو باڤيسي Lorenzo Pavesi في إيطاليا يعمل في منافسة مع فريق إيلينوي لاختبار سلوك الليزر مع السيليكون. فزرع أيونات أو ذرّات من السيليكون باستخدام مسارع في لوح من الزّجاج، وقام بتسخينه لدرجات حرارة عالية؛ إلى أن شرعت أيونات السيليكون بالتحرّك بحريّة أكبر في الرّكيزة. وحين بردت الرّكيزة في وقت لاحق، تَنَوَّت Nucleated ذرّات السيليكون؛ مكوّنةً جسيمات سيليكون نانويّة قطرها ٣ نانومترات تقريبًا، فيما يشبه تشكّل قطرات المطر. بعدها، فَحَصَ لوح الزجاج، ونشر تقريرًا في مجلّة *Nature*، يفيد بالحصول على بوادر كسب؛ ما يعني أنّ سلوك الليزر يكون مُجديًا إذا تحققت شروط أخرى معينة.

وفي هذه الأثناء، نشرت مجموعة نايفة سلسلة من الأوراق في مجلة *Applied Physics Letters* حول جسيمات سيليكونية نانوية، حصلت المجموعة عليها بالفعل. ويُشار في تلك الأوراق إلى رصد انبعاث مستحثّ وعلامة على جدوى سلوك الليزر؛ إضافةً إلى رصد قذف حُزم صغيرة جدًا (مجهريّة)، ناتجة من تجميع الجسيمات. وعدا أنّها شديدة اللمعان، فإنّ الطبقات المعاد تكوينها، أو التجمعات الناتجة عن عائلة الجسيمات، تُبدي ظاهرة الانبعاث المستحثّ، الذي هو شرط ضروري لتوليد أشعّة الليزر. وحين نشرت مجلة *Nature* نتائج مجموعتي باڤيسي ونايفة في قسم التقارير، أشارت إلى أنّ أجهزة السيليكون الباعثة للضوء ـ إذا ثبت ذلك ـ من الممكن

أن تقــود في النهـاية إلى ظهـور ليـزر على الرقـاقـة؛ وإلى جـيل جـديد من رقـائق السيليكون؛ وإلى توسيع وظائف تكنولوجيا السيليكون، من الإلكترونيات الدقيقة إلى الإلكترونيّات الضّوئيّة.

ما بعد الحوسبة السيليكونيّة

الإلكترونيّات الجُزيئية العضوية

البديل عن ترانزستور تأثير المجال هو استخدام جهاز إلكترونيّ جُزيئيّ. وحاليّـًا تُجرى دراسات على هذه التكنولوجيا الجديدة، نظرًا لوجود احتمال قويّ لأن تخلف تكنولوجيا الإلكترونيات السيليكونيّة التقليدية. وأحد جوانب الإلكترونيات الجزيئية هو صُنع أجهزة تتحكم بوظائفها جزيئات مفردة. ومَعَ أنّها واعدة جدًا، فثمة تحديات أساسية جديدة تقف في طريق تصنيع مثل هذه الأجهزة. وقد جعلت تلك التحدّيات التقديرات تشير إلى أنّ الاتجاه العامّ لتطبيقات هذه التكنولوجيا سيكون في منتصف القرن الحادي والعشرين على وجه التقريب. إنّ الحافز لحدوث تغيير جذري من هذا القبيل هو أنّ الجزيئات هي بطبيعتها تراكيب ذات مقياس نانومتريّ. على سبيل المثال، فإنّ سلسلة من الحلقات العطرية الموصولة بعضها ببعض بروابط الأسيتيلين قد تعمل كأسلاك موصلة لكهرباء يمكن استخدامها في توصيلات الأجهزة. وتعمل مجموعات الثيول Thiol (SH-) الوظيفية المتصلة بطرفي السلك الجزيئي «شابكات تمساحيّة Alligator Clips» لربط الوحدات الإلكترونية الجزيئية على الركائز الفلزيّة. إنّ أنابيب الكربون النّانوية تصلح للاستخدام كأسلاك كهربائية أو دعامات لعناصر الدارات الجزيئية - مثلاً، عند مَلْئها بذرّات فلزّ موصل - لتكوين أقوى الأسلاك النانويّة الممكنة كيميائيّـًا، من حيث البنية. وقد تعمل تشكيلات أخرى من الجزيئات عمل صمام ثنائيّ مُقوّم Rectifier، أو مُضخّم Amplifier، كما في الترانزستور. وعلى الجانب الآخر من هذا المجال، يمكن استخدام جزيئات الحمض النّوويّ والجسيمات النّانوية في التوصيف الكهربائيّ الجزيئيّ.

وخلافًا للتراكيب النّانوية المبنيّة من المواد الصُّلبة الكبيرة الحجم، فإنّه يمكن جعل الجزيئات متطابقةً، بثمنٍ بخسٍ وبسهولة، بواسطة مليارات التريليونات التي سنحتاج إليها لإنتاج أجهزة الحَاسوبَ الإلكترونية النّانوية الفائقة الكثافة على المستوى الصناعيّ. والتحدّيان الأساسيان هما: استنباط تراكيب جزيئية تعمل كمفاتيحَ كهربائي؛ وتجميع تلك الجزيئات في الهياكل الممتدّة الدّقيقة اللازمة لإجراء حوسبة موثوقة. وما من شكٍّ في أنّ التقدّم النظري والعمليّ المثير نحو مواجهة هذين التحدّيَيْن لا يزال في بداياته الأولى.

إنّه ليس من المستغرب تسمية الإلكترونيات الجزيئيّة «اختراق العام» من جانب **مجلّة العلوم** *Science Magazine* عام ٢٠٠١؛ فالإمكانات الفريدة للإلكترونيات الجزيئية هي أساس تقنية «من الأسفل إلى الأعلى» للتجمّع الذاتي المتأصّل في الجسيمات الصغيرة، كالجزيئات، في الأجهزة والدّارات. وهذا بحدّ ذاته يمثل نقلة نوعيّة؛ مقارنة بنهج أشباه الموصلات «من الأعلى إلى الأسفل». علاوة على ذلك، فإن بساطة هذا النّهج توفر ميزة اقتصادية كبيرة على النّهج التقليديّ، الذي تنامَت فيه تكاليف معالجة الرّقاقات؛ لتقترب من عشرات المليارات من الدّولارات.

الحوسبة الكموميّة

حدثت الاختراقات في مجال الحوسبة الكموميّة في أواخر تسعينيات القرن العشرين. وتَستخدم حواسيبُ كمومية تحت التطوير مكوّنات جزيء كلوروفورم Chloroform (تركيبة من ذرّات الكلور وذرّات الهيدروجين)، وشكلاً معدّلاً من التقنية الطبية المعروفة المسماة التصوير بالرنين المغناطيسيّ MRI، لإجراء الحوسبة على المستوى الجزيئيّ. لقد سخّر العلماء فرعًا من فروع الفيزياء، هو ميكانيكا الكمّ، يصف نشاط الجسيمات دون الذَّرّية ـ أي الجسيمات التي تتشكل منها الذرّات ـ أساسًا للحوسبة الكموميّة. وربما تغدو الحواسيب الكموميّة أسرعَ من الحواسيب الرّاهنة بآلاف الملايين من المرّات؛ لأنها تستفيد من القوانين التي تحكم سلوك الجسيمات

المكوِّنة للذرّة. وتتيح هذه القوانين للحاسوب الكمومي فحص جميع الأجوبة المحتملة لاستعلام ما في وقت واحد. ومن الممكن أن تتضمن الاستخدامات المستقبلية للحواسيب الكموميّة فكّ الشيفرات، والاستعلام باستعمال قواعد بيانات كبيرة.

الصحّة

اجهزة الاستشعار البيوكيميائية النّانويّة

استُغلّت تكنولوجيا النّانو لبناء مجموعة متنوّعة من المجسات النّانوية لرصد النشاط الخلويّ، أو المجسّات الحسّاسة للملوّثات. ونعطي هُنا بعض الأمثلة على هذه التكنولوجيا. فقد بُني أحد المجسات المثيرة باستخدام ألياف ضوئية من الكوارتز ذات أبعاد صغيرة جداً (١٠ نانومترات - ١٠٠ نانومتر). ثُبّت مضاد حيويّ (Benzo [a] pyrene tetrol (BPT)) عبر التكافؤ التساهميّ بطرف الليف الضوئي، ووضع الليف داخل خلية لمراقبة نشاط المضادّ الحيويّ. إنّ بناء القدرة على رصد العمليات الكيميائية الحيوية في الخلايا المفردة من شأنه أن يجد طريقه بالتأكيد إلى التطبيق في مجال الحرب الكيميائية والبيولوجية؛ لأغراض الاستشعار المبكّر والدّفاع، أو لحماية الجنود والسُّكّان.

ثمّة مثال ثان هو استخدام كرات جسيمات البوليمر النانويّة (المسمّاة Dendrimers)، التي يمكن أن تبلغ من الصّغر دون ٥ نانو مترات. فتُرسَل عبر أغشية إلى خلايا الدّم البيضاء. ويمكن برمجة هذه الجسيمات لكشف التغيرات البيوكيميائيّة، أو التغيرات قبل الخبيثة والسّرطانية، داخل الخلايا الحية عن طريق الإشعاع، على سبيل المثال. ويمكن وصل تلك الكُرات النّانوية بعُرىً تتوهّج بوجود البروتينات المرتبطة مع موت الخلايا.

إنّ المجسات النّانوية التي تُستخدم مع المواد ذات الأهمية في الكيمياء أو في الطّبّ الحيويّ يمكن بناؤها من الفلزّات أو أشباه الموصلات. فتُغلّف جزيئات من الذّهب ذات أبعاد نانومترية بطبقات أحادية الجزيئات من الألكانثيول الفاعل على السطوح Surfactant. وهذا التغليف يعمل جيّداً، لأنّ الكبريت ينزع إلى التجمع على الذهب.

وتُرسّب الجسيمات المغلّفة على هيئة طبقات رقيقة على أقطاب كهربائية مجهريّة مُرَقْمَنَة Digitized . وتكون لهذه الطبقات الرقيقة القدرة على جسّ الأبخرة الخطرة. إنّ وضع طبقة رقيقة من جسيمات السيليكون النّانويّة على سيليكون نانويّ عالي التطعيم، أو على ركيزة من الغرافيت، يجعل من الممكن الحصول على جهاز استشعار للغلوكوز؛ فيما يتعلق بمرض السُّكّري، أو عقاقير الدوپامين للعصبونات Neurons .

الجزيئات المفردة والتصوير الخلويّ في الخلايا الحيّة

إنّ الجسيمات النّانوية المتوهجة ذات أهمية للطبّ الحيويّ، خاصة إذا كانت الموادّ النّانويّة لامعةً للغاية وذات كفاءة كمومية عالية لبثّ الإشعاع. في هذا التطبيق، تُغلّف الجزيئات بمجموعات وظيفية؛ مثل: حمض الكربوكسيل، أو الأمين، أو الثيول. عندئذ، يصبح السطح نشطًا كيميائيّـًا؛ بحيث يمكن ربطه بالأجسام المضادّة لمرض معيّن. وحين تضاف هذه إلى عينة في المختبر أو تُحقن في الجسم، فإنها تكون قادرة على الاتصال بسيماء المرض المستهدف؛ فتصبغ من ثمّ الخلية أو الجزيء. ولأنّ بعض جسيمات أشباه الموصلات المتاحة اليوم لامعة بما يكفي لملاحظة الضوء المنبعث من أحدها باستخدام التكنولوجيا الطبية الرّاهنة، فإنه يمكن ملاحظة الجزيء الواحد أو الخلية الواحدة المصابة بالمرض ديناميّـًا. لقد استُخدمت جسيمات أشباه الموصلات من CdSe أو CdS في مدى ٥-٨ نانومترات تقريبًا من جانب الباحثيْن أليڤيساتوس وناي Nei . كما استخدمت جسيمات السيليكون النّانوية اللامتناهية الصغر في هذا النوع من التطبيقات. واستطاع الباحث واي منغ يو Weiming Yuمن مستشفى رايليRiley للأطفال في إنديانا پوليس بالولايات المتحدة الأمريكيّة صَبْغ الخلايا السرطانية في كُلْية كلب، وتصوير الجسيمات على الخلايا باستخدام المسح المجهريّ في مجال الفيمتوثانية. واستخدمت الباحثة حنان ملكاوي هذه التقنية في صبغ البكتيريا *E. coli*، وتصويرها باستخدام مجهر إلكترونيّ قويّ، في جامعة اليرموك بمدينة إربد في الأردنّ. كما صبغت الباحثة منى حسّونة خلايا سرطان الثدي وصوّرتها باستخدام مجهر فلوريّ. تلك جسيمات برّاقة تمكّن المجسّات النّانوية الفلوريّة من تحليل الخلايا الحية بحساسية فائقة. وفي حال نجاحها، فلربّما تكون بديلاً قابلاً للحياة

للتكنولوجيا المستخدمة حاليّاً؛ وهي تكنولوجيا الفلوروفور Fluorophore العضوية.

مستحضرات التجميل النّانويّة

تُركّز البحوث النشطة حاليّاً في مجال تطوير منتجات العناية بالبشرة على استعمال الخبرات الأكثر تقدّمًا في الأحياء الدقيقة وتكنولوجيا النّانو في صناعة تلك المستحضرات. فقد درس العلماء مجموعةً من المركّبات الجديدة والناشئة: من مركّبات التجميل المضادّة للشيخوخة، وإصلاح البشرة والعناية بها، والترطيب، والحماية؛ إلى العناصر ذات الخصائص المضادّة للميكروبات، والمقاومة للتهيُّج. وتُضاف الجسيمات النّانوية من الفلزّات (الذهب، والفضة، والپلاتين)، ومن أكاسيد الفلزّات، ومن الكربون، إلى هذه المنتجات. كما يُنظر حاليّاً في إمكانية استعمال الجسيمات النّانوية من السيليكون. وتقوم الباحثة ابتسام العليّان من جامعة الملك سعود بدراسة تقييمية لمدى سمّيّة الجسيمات النّانوية الذائبة في زيت الجلد أو زيت السيليكون المتطاير، الذي يَستخدم الموادّ الحيوانيّة. كذلك، تُعَدّ جسيمات النّانو حاليّاً للاستخدام للحماية من الأشعة فوق البنفسجية الضارّة؛ ولتوفير مسار بديل للأكسدة، للتخفيف من أكسدة الخلايا. وإنّ استخدام موادّ النّانو يطرح قضايا جديدة تتعلق بالسُّمّيّة، والسلامة، والتنمية؛ وبالتقنيات، والتنظيمات المستخدمة فيما يرتبط بنواحي تقييم السلامة.

التكنولوجيا الكيميائيّة

الترشيح النّانويّ

هو واحد من التطبيقات المبشّرة في مجال تنقية المياه. في عملية الترشيح، يُوظَّف تدرُّج الضغط للنقل الانتقائي لموادّ مذابة ومذيبات معينة عبر غشاء. وهذه العملية مشابهة للتناضح Osmosis العكسي. إنّ أغشية النّانو تنزع إلى أن تكون أعلى نفاذيّة؛ الأمر الذي يتطلب ضغطًا أقلّ، ومن ثم طاقة أقلّ. ومن السّمات الأخرى لتلك المرشحات أنّها انتقائية؛ فهي قادرة على إزالة أملاح محددة مثل كبريتات المغنيسيوم

$MgSO_4$. إنّ التّناضُح العكسيّ عموماً يركز على إزالة جميع الأملاح من المياه. وتشمل التطبيقات تطرية المياه؛ وإزالة الملوّثات، مثل مبيدات الأعشاب، من المياه الصّالحة للشرب. وهذه التكنولوجيا يمكن أيضًا رفع مستواها، من خلال توظيف محاليلَ كهرليّة متعدّدة الطبقات كأغشية ترشيح نانويّة عالية التدفق. كما يمكنها فصل الأنيونات الأحادية التكافؤ والثنائية التكافؤ بانتقائية بين Cl^- و SO_4^{-2} مقدارها ألف؛ وكذلك الجزيئات العضوية الصغيرة، مثل جزيئات الغلوكوز والسكروز. وحتى الآن، تمكّن العلماء من تحقيق تدفقات تصل إلى ثلاثة أمثال ما يمكن تحقيقه باستخدام أفضل الأغشية التجارية التقليدية؛ في حين استمر الحصول على نسب رفض كبيرة لأنيونات SO_4^{-2} والجزيئات العضوية الصغيرة. كما فصل العلماء غازات، مثل الأكسجين والنيتروجين، باستخدام أغشية فائقة الرّقّة (نانويّة) تسمح بتدفقات عالية.

محفّزات النّانو

هي طبقات رقيقةٌ من جسيمات النّانو قد تكون محفزات لعمليات متعددة. إنّ الطبقات النّانويّة تمتلك مساحة سطح كبيرة منسوبة إلى الكتلة؛ مقارنة بالموادّ المسطحة الكبيرة. على سبيل المثال، فإنّ غرامًا واحدًا من جسيمات أكسيد التيتينيوم، بقطر ٥ نانومترات، تبلغ مساحة سطحه ١٧٠ مترًا مربّعًا! ونظرًا لأنّ نشاط التحفيز يتناسب مع مساحة السطح، فإنه يمكن للمرء أن يرى لماذا تشكّل طبقة جسيمات النّانو محفزًا أفضل من مكافئها العاديّ. وتُستخدم هذه الموادّ لتنقية البكتيريا الموجودة في الهواء، أو في مصادر المياه. وتكسر الجزيئات التي تسبب الروائح الكريهة في الأماكن المغلقة؛ مثل: الثلاجة، أو قمرة القيادة لطائرة مقاتلة. ولتعمل الجسيمات بأفضل صورة ممكنة، يجب تعريضها للإضاءة؛ خاصة الأشعة فوق البنفسجية. فالضوء الساقط يشحن سطح الجسيمات التي تنطلق منها البكتيريا، أو الجزيئات التي تقع عليها، في عمليّة «ضوئيّة مُحفزة» فعّالة لتنقية البيئة. وهذه الطبقة يمكن استخدامها أيضًا بوصفها غشاءً نانويّ المساميّة، بهدف الترشيح.

الطاقة والإضاءة

الوقود النّانويّ والخلايا الشمسيّة النّانويّة

إنّ طبقة رقيقة من جسيمات السيليكون النّانويّة، توضع فوق قطب من السيليكون العالي التطعيم، يمكن أن تعمل حافزاً لأكسدة الإيثانول والميثانول أو الغلوكوز. وقد استَخدمت مجموعة ياو Yau في جامعة ولاية كليفلاند، بالتعاون مع مجموعة نايفة في جامعة إيلينوي، هذه العملية لبناء نموذج تجريبيّ لخليّة وقود حيويّ، لتوليد الطاقة باستخدام جهاز صغير جداً. وهذه التقنيات واعدة في مجال تطوير مصادر طاقة محمولة ذات كثافة عالية ومضغوطة من حيث الحجم، لاستخدامها في توليد الطاقة؛ إضافةً إلى تطوير أجهزة صغيرة لتوليد الطاقة وتوزيعها على نطاق صغير، والبنى التحتية المرتبطة بها. وإنّ الوحدات القابلة للزّرع في الجسم، مثل منظم ضربات القلب أو جهاز مراقبة مستوى السكر لدى مريض السكري، هي من بين التطبيقات في هذا المضمار.

إنّ طبقة رقيقة نانومترية من جسيمات أشباه موصلات منيرة يمكنها نظريًا أن تحسّن أداء الخلايا الشمسية. فمثلاً، تعمل طبقة رقيقة من جسيمات السيليكون النّانوية بسماكة نانومتر واحد أو ٢,٩ نانو متر، توضع على خلية شمسية سيليكونية تقليدية، كخليّة عُليا تُحسّن أداءها. والجدير بالذّكر أنّ الطبقة الرّقيقة تحسّن أداء الطاقة في نطاق الأشعة فوق البنفسجية/ الزّرقاء بنسبة ٥٠٪ على وجه التقريب؛ وفي مجال الأشعة المرئية بنسبة ١٠٪. أضف إلى ذلك أنه، بدلاً من أن تُلحق هذه الأشعّة الضرر بالخلايا الشمسية، فإنّ الجسيمات السيليكونية النّانوية تُحوّل الأشعة فوق البنفسجية إلى طاقة نافعة؛ بمعنى أنّ الطبقة اللامتناهية الصغر تطيل عمر الخليّة. وقد تجلّى هذا الإنجاز في جهد تعاونيّ لفرَق بحث كل من: محمد الصالحي من جامعة الملك سعود، وتركي آل سعود من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتكنولوجيا، ومنير نايفة من جامعة إيلينوي.

المواسِعات النّانوية الفائقة

أثمرت الجهود المشتركة بين مجموعة ياو من جامعة ولاية كليڤلاند ومجموعة نايفة من جامعة إيلينوي عن بناء مواسع نانويّ فائق من البوليمر. لقد دُمجت جسيمات السيليكون النانوية في طبقة رقيقة من البولي أنلين Polyaniline؛ وهو بوليمر موصل كثيرًا ما يستخدم في صُنع المواسعات الفائقة. وتشير النتائج الأولية التي حُصل عليها إلى ارتفاع ملحوظ في مواسَعة تلك الطبقة، نتيجة لدمج الجسيمات النانوية فيها. وتنمّ الزيادة الملحوظة في مواسَعة الطبقة المشار إليها عن طبيعة ذات مواسَعة زائفة. وتشير النتائج المبدئية إلى فاعلية استخدام جسيمات البوليمر في بناء مواسِعات فائقة، ذات قدرة تخزين عالية جدًا للشحنة.

الثنائيّ النّانويّ الباعث للضوء LED

إنّ عملية التصنيع الحاليّة للثنائي الباعث للضوء الأبيض لم تنضج بما فيه الكفاية كي يُنتجَ على نحو فعّال من حيث الكلفة. فعلى سبيل المثال، ثمة مجال لتحسين التكنولوجيا الحالية لهذا الثنائيّ؛ بما في ذلك تطوير ثنائيات باعثة للضوء أكثر فاعلية في نطاق الأشعة فوق البنفسجية والضوء الأزرق. وهنالك أيضًا مشكلات في المحوّلات البيضاء، مثل المواد الفوسفورية، وقدرتها على بعث ضوء ذي نطاق أوسع من الأطوال الموجية. وعلى وجه الخصوص، فإن عدم تناغم امتصاص الضوء وانبعاثه، وغياب المرونة في شكل المواد الفوسفورية، قد باتت قضايا تؤثر في قدراتها الطيفية. إضافة إلى ذلك، وجد أن طبقات الفوسفورات يحدث فيها انعكاس ملموس يسبب رجوع جزء غير بسيط من ضوء الثنائي الباعث للضوء إلى الثنائيّ مجددًا؛ ما يسبب آثارًا حرارية قد تجعل السيطرة على الثنائيّ أصعب. وبشكل خاص، يتعين استخدام تصاميم أشدّ صرامة للتبديد الحراري. ونظرًا لأنّ استجابة الفوسفورات هي أكبر للجزء الأزرق من ضوء الثنائيّ الباعث للضوء، فإنّ القسط المنبعث من الأشعة فوق البنفسجية يشكل خطورة على نظر المستهلك. ومع الأنظمة العاملة بكثافة عالية، يجب بذل الجهود لدمج حاجبات الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن الحديث عن المشكلات نفسها في الأصباغ العضوية.

إن شركة **بوليبرايت الدّولية للثنائيّات الباعثة للضوء PolyBrite International LED Lighting Company** في شيكاغو ـ برئاسة المخترع كارل سيانا Carl Scianna ـ هي مبتكرة لأنظمة الإضاءة باستخدام الثّنائيات الباعثة للضوء الأبيض. فهي تجمع البوليمراتَ مع الثنائيات الباعثة للضوء، جنبًا إلى جنب مع الإلكترونيات الشخصية، لإنتاج أحدث الصناعات المتطورة في مجال الإضاءة، باستخدام الثنائيات الباعثة للضوء الأبيض. وتعمل شركة **بوليبرايت** حاليّـًا مع **نانوسي للتكنولوجيا المتقدّمة NanoSi Advanced Technology**، وهي شركة ناشئة من مجموعة جامعة إيلينوي، على تطوير ثنائيات نانويّة باعثة للضوء، لتحسين كفاءة الألوان وجودتها. ويعمل الفريق على تحضير طبقات سيليكون مكوّنة من جسيمات نانويّة؛ وذلك بخلط جسيمات السيليكون النانوية مع مادة إيبوكسي Epoxy اللاصقة والمواد الفوسفورية، ومن ثمّ وضع طبقات رقيقة مركّبة ملوّنة ذات جسيمات أحادية الحجم، لتحسين الثنائيات الباعثة للضوء الأبيض المتداولة تجاريّـًا. كما يجري العمل على إنتاج شرائح متعددة الطبقات من جسيمات نانويّة، لتحقيق المزيد من التحسينات.

مبادرة التحدّي الكبير للبلدان النّامية

كان بيتر سنغر Peter Singer يتحدث عن مبادرة التحدي الكبير لتكنولوجيا النّانو؛ ردًا على اقتراح من رئيس الوزراء الكنديّ مارتن Martin. فقد اقترح هذا تخصيص ما نسبته ٥ بالمئة من الموازنة الدولية للبحث والتطوير في مجال التكنولوجيّات التي من شأنها أن تساعد العالم النّامي. قال سنغر: «إذا ساهمت كُلّ البلدان الصناعية، فيمكننا جمع خمسين مليار دولار». وحدد عشرة تطبيقات لتكنولوجيا النّانو من شأنها أن تكون ذات صلة بذلك؛ إضافة ـ بطبيعة الحال ـ إلى الدّفاع، وتخزين البيانات، والاتصال. وكانت قائمة سنغر على النحو الآتي:

١ـ تخزين الطاقة وإنتاجها وتحويلها: تعمل النقط الكمومية شبه الموصلة أو الجسيمات النانوية على تعزيز كفاءة الخلايا الشمسية؛ كما تساعد أنابيب الكربون النّانويّة، التي هي أقوى من الفولاذ، في تخزين الهيدروجين.

٢ـ تحسين الإنتاجية الزّراعية: فمعادن الزيولايت Zeolites ذات المسامية النّانوية بمقدورها ضبط عملية إطلاق الموادّ المغذّية.

٣ـ تنقية المياه ومعالجتها: يُمكن لمرشحات النّانو تحلية المياه وتنقيتها من البكتيريا والڤيروسات بكفاءة عالية. كما يمكن رش مغانط نانويّة على البقع الناجمة عن تسرب النفط، وفصل النفط عن الماء، وإزالة آثار التلوُّث.

٤ـ فحص المرض وتشخيصه: تستخدم تقنية «مختبر في رقاقة» لأخذ عينة من دم المريض، لتُجرى عليها مجموعة معقّدة من الاختبارات السريرية.

٥ـ توصيل الدّواء: فالأنظمة النّانوية الذكية يمكن الاستفادة منها في توصيل الدّواء، وإطلاقه في الوقت المناسب بجرعة واحدة، تستمر فترة طويلة لعلاج مرض السُّلّ أو نقص المناعة المكتسب HIV.

٦ـ معالجة الأغذية وتخزينها: يمكن لطبقات نانويّة رقيقة جداً أن تغنيناعن الحاجة إلى الثلاجات.

٧ـ القضاء على تلوث الهواء: يمكن لجسيمات ثاني أكسيد التيتينيوم النّانوية، التي توضع في الأرصفة وطلاء المنازل، أن تحفز بوجود ضوء الشمس القضاء على مُلوّثات عدة.

٨ـ موادّ البناء المستخدمة في تشييد مساكن أرخص وأقوى(خيام فائقة الجودة، ذات عزل جيّد، ومقاومة لانتشار الصوت).

٩ـ مراقبة الصحة: إنّ تكنولوجيا النّانو يمكن أن تساعد المرضى في رصد مؤشرات رئيسية؛ مثل مستويات الغلوكوز والكولسترول.

١٠ـ كشف الآفات الحشرية والسيطرة عليها؛ بما في ذلك إنتاج المبيدات الحشرية المحسَّنة، والموادّ الطّاردة للحشرات.

تسويق مُنتَجات تكنولوجيا النّانو

يتبادر إلى الذهن السؤال: «ما المنتجات المحتملة التي يمكن أن تطرحها تكنولوجيا النّانو؟». إنّ غالبية الناس ممّن هم على دراية في هذا المجال سيجيبون بسرعة: «مبدئيًّا كلّ شيء». لكن، لماذا لم تُوفّر هذه المنتجات حتى الآن، بالرغم من إنفاق ثلاثة مليارات من الدولارات؛ إضافة إلى حشد أعداد هائلة من الباحثين المشاركين؟ لتسليط بعض الضوء على هذا الموضوع، نحن بحاجة إلى التفكير في شروط نجاح المنتجات الاستهلاكية لصناعة النّانو؛ عدا قضايا البيئة، والمسائل الاجتماعية (الإيجابية والسلبية)، وعَلاقة التكنولوجيا بالتسلُّح العسكريّ. كذلك، أن نتناول السؤال: «هل أثبتت تكنولوجيا النّانو أنّها قاعدة التكنولوجيا للقرن الحادي والعشرين؟».

الإنفاق والسوق والمبادرات والقوى العاملة

برزت أهمية تكنولوحيا النّانو من خلال بلايين الدّولارات التي أنفقت لتطوير هذا المجال في جميع أنحاء العالم؛ فضلاً عن توقعات حجم السوق التي أفصح عنها الخبراء: ٣٤٠ بليون دولار أمريكيّ للمواد، و٣٠٠ بليون دولار أمريكي للإلكترونيات، و١٨٠ بليون دولار أمريكيّ للموادّ الصيدلانية، و١٠٠ بليون دولار أمريكيّ لتصنيع الموادّ الكيميائية، و٧٠ بليون دولار أمريكيّ للمركبات الفضائية، و٢٠ بليون دولار أمريكي لأدوات النمذجة، و٣٠ بليون دولار أمريكي لتحسين الرّعاية الصحية، و٤٥ بليون دولار أمريكي لتحقيق الاستدامة؛ أي ما يقرب من تريليون دولار أمريكيّ في فترة تتراوح بين ١٠ سنوات و١٢ سنة.

وقد جاءت غالبية الدّول الغربية بمبادرات وطنية تحدد مجالات البحث والتطوير، وسياسات التسويق التجاري، في هذه التكنولوجيا. كما خَصّصت تلك الدول مبالغَ طائلة من الأموال الحكومية؛ عدا تشجيع الصناعات الخاصة على المشاركة في ذلك. وحَذَت دول آسيوية كاليابان حذو الدّول الغربية في هذا الميدان. وفي الآونة الأخيرة، دخلت دول نامية السباق. وعلى وجه التحديد، ثمة جهد منسّق لرعاية هذه

التكنولوجيا في المملكة العربية السعودية. فقد أطلقت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتكنولوجيا مبادرة وطنية لتكنولوجيا النّانو. كما خَصّصت وزارة التعليم العالي السعودية موازنة كبيرة لإنشاء مراكز للتميز في تكنولوجيا النّانو. وشدّد الملك عبد الله على أهمية هذا المجال، وقدّم مساهمات مباشرة إلى الجامعات التي قد تبدأ برامج تتعلق بتكنولوجيا النّانو. فجامعة الملك سعود، وجامعة الملك فهد، وجامعة الملك عبد العزيز؛ أنشأت كلّ واحدة منها مركزاً لتكنولوجيا النّانو. كما انتُخبت جامعة الملك سعود لإنشاء معهد يحمل اسم «معهد الملك عبد الله لتكنولوجيا النّانو».

شروط نجاح صناعة المنتجات الاستهلاكية النّانويّة

من المهمّ جداً أن ندرك أنّ ثمة شروطًا يجب توافرها لإنجاح عملية تسويق منتجات النّانو. من هذه الشروط: إنتاج مكوّنات النّانو بالشكل والحجم نفسيهما، وبدقة لامتناهية؛ فضلاً عن التحكم فيها، وتكرار تصنيعها في الوقت المناسب وبكلفة منافسة. أضف إلى ذلك أن إنتاج كميات كبيرة تكفي لتلبية طلب المستهلك، وتحقيق متطلبات السلامة، هما قيدان مهمّان آخران. وحتى إذا استوفيت هذه الشروط، تظلّ هنالك مشكلة رئيسية، تكمن في تسليم منتج النّانو إلى المكان الصحيح وفي وقت قصير. وإذا كان علينا العمل على تصنيع منتج نانويّ واحد فقط في أيّ وقت، فإن ذلك سيستغرق وقتًا غير محدود. عدا أنّ مفاهيم مثل التجميع الذاتي ـ إن طُبّقت ـ من شانها أن تجعل التكنولوجيا قابلةً للحياة. غير أنّ التجمّع الذاتيّ للجسيمات يسلتزم أن تكون متطابقة. هذه هي تحدّيات وعقبات رئيسية من شأنها أنْ تُنجحَ أو تكسرَ أيّ تطبيق لتكنولوجيا النّانو.

تكنولوجيا نانو منخفضة الكلفة

ثمّة ميزة أخرى مثيرة للاهتمام في تكنولوجيا النّانو هي حقيقة أنّ بعض جوانب تلك التكنولوجيا أو مراحلها ذات كلفة منخفضة؛ وأن مجالاتها تحتاج إلى تخصصات مترابطة [مثل: الكيمياء، والفيزياء، والأحياء، والهندسة... إلخ]. وفي هذا

الصّدد، هنالك فرصة كبيرة لتجميع الموارد: البشرية، والمالية، والتقنية. كما تعدّ تكنولوجيا النّانو واحدةً من أكثر الوسائل فاعلية لتحفيز تكوين الشراكات بين القطاعات المختلفة من أكاديمية، وصناعية، وحكومية. وهي حتّى ملائمة كي تشكّل أرضًا خصبة لتعاون دوليّ حقيقيّ، يمكن للبلدان النامية الإسهام فيه بفاعلية.

البيئة والسلامة والقضايا الاجتماعية

عند العمل في تكنولوجيا النّانو، يحتاج المرء إلى النّظر في المسائل المرتبطة بالسلامة؛ بما في ذلك التأثيرات المحتملة لهذه التكنولوجيا في الجينات، والوراثة، والمجتمع. فتكنولوجيا النّانو تَستخدم إلى حدٍّ كبير طُرُقًا كيميائية سامّة ذات آثار ضارّة. وفي حالة الجُسيمات النّانوية للفلزّات الثقيلة، مثل الكادميوم والرّصاص والتنغستن، ثمّة أدلّة على أنّ هذه الجسيمات قد لا يمكن التخلص منها؛ بل تبقى على هيئة بُؤَر تسمم في جسد الكائن الحيّ. ولصغر حجمها، فإنه يصعب تحديدها أو تتبُّعها؛ كما يستحيل العثور عليها أو التخلص منها.

إنّ «تسمُّم النّانو» مشابه لسلاح دايم DIME (متفجرات الفلزّات الكثيفة الخاملة)، الذي استخدم في الآونة الأخيرة ضدّ المدنيين في غزّة. تلك المتفجرات تُحدث انفجارات قويّة بشكل غير عاديّ داخل منطقة صغيرة نسبيًّا، ناثرةً شظايا صغيرة الحجم من سبائك التنغستن الفلزّية الثقيلة الفائقة السخونة HMTA؛ الأمر الذي يتسبب في دخولها قسرًا إلى الأجهزة والخلايا. ولن يكون مفاجئًا أن تحتوي الشظايا على جزيئات مجهريّة (دون الميكرون)؛ في نطاق يتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠ نانومتر تقريبًا. وقد توصّلت دراسات علمية إلى أنّ الشظايا الصغيرة الحجم من مسحوق التنغستن المحتوي على جسيمات فلزّية فائقة السخونة سامّة كيميائيًّا، وتسبب أضرارًا في الجهاز المناعيّ، إلى جانب أنّها مسبب قويّ للإصابة بالسّرطان؛ عدا أنّها تهاجم الحَمْض النووي (السُّمّيّة الجينيّة). ولا يتوافر سوى القليل من الاختبارات لكشف آثارها السلبية. إنّ مسحوق التنغستن ذا الجسيمات النّانوية المتوسطة الحجم (٣٠-١٢٠

نانومترًا) أصبح متوافرًا تجاريًّا في الآونة الأخيرة. ولا مفرّ من تطوير وسائل التسخين الحراريّ؛ فضلاً عن تلك المتعلّقة بالدّخول القسريّ المستحثّ ـ كالدّخول البالستيّ إلى الخلايا ـ للتمكُّن من إجراء اختبارات حقيقيّة.

والحق أن أوروبا واليابان تناقشان بالفعل حظر استخدام الجُسيمات النّانوية من الفلزّات الثقيلة في التطبيقات المنزلية؛ كوسائل العَرْض التجاريّة. ويُنتظر أن تحذو إدارة مراقبة الأغذية والعقاقير الأمريكية حذوهما. ويجب أن نلاحظ أنّ تكنولوجيا النّانو السيليكونية هي الأقلّ سُمّيّةً والأكثر توافقًا مع البيولوجيا والبيئة. فالسيليكون لا يتطلب المزيد من المعالجة أو الحجب، المعروف أيضًا بالتدريع Shielding. كما يُتوقع أن يذوب في الجسم ويتحول إلى حَمْض السيليكيك Silicic acid؛ وهذا يوجد بصورة عادية في الجسم. وتختبر الباحثة ابتسام العليّان من جامعة الملك سعود في الوقت الرّاهن سُمّيّة جسيمات السيليكون النّانوية الذائبة في مستحضرات التجميل؛ مستخدمةً فحوصات مخبرية ودراسات تطبيقية على حيوانات التجارب. وهُنا نُذكّر بالكمّ الهائل من السيليكون الذي نستخدمه بطريقة مباشرة أو غير مباشرة بالاكتفاء بذكر ما يدخل من مواد ذات أساس سيليكونيّ إلى أجسادنا، أو ما يُستخدم منها في الحواسيب.

هل ستُبرهن تكنولوجيا النّانو أنها قاعدة التكنولوجيا للقرن الحادي والعشرين؟

تُعاني تكنولوجيا النّانو في أيّامنا هذه من الكثير من المشكلات الأساسية القاتلة التي قد تبطئ تجسُّدَها قاعدةَ التكنولوجيا للقرن الحادي والعشرين. ويتمثل أحد التحدّيات الرئيسية في التساؤل عمّا إذا كان العالم سيكون قادرًا على إنتاج مواد نانويّة بدقة لامتناهية؛ إضافة إلى التحكم فيها، وتكرار تصنيعها في الوقت المناسب وبكلفة منافسة، وما إذا كانت كمية الإنتاج ستكون كبيرة بما فيه الكفاية، لتلبية طلب المستهلك وتحقيق متطلبات السلامة. وهل سيكون دور الطبيعة في هذا الصّدد مساعدًا لنا، من حيث التجميع الذاتيّ والتنظيم الطبيعي في صنع موادّ بشكل معيّن مضبوط من دون

استخدام الآلات؛ الأمر الذي من شأنه أن يوفر وقتَ التصنيع وكلفتَه؟ على أي حال، نقول إنّ «الكأس المقدّسة» في هذا الشأن تتمثل في إنتاج كميات كبيرة من مكوّنات النّانو، المتطابقة في حجمها وشكلها.

ومَعَ أنّ تكنولوجيا النّانو لا تزال مجرّد خيال علميّ، فهنالك في الواقع بعض المنتجات الاستهلاكية المتاحة التي توظّف هذه التكنولوجيا. وقد صَنَعت تطبيقات تكنولوجيا النّانو النّاجحة فرقًا واضحًا؛ مقارنة بسواها. ومن تلك التطبيقات: ضمادات الحروق والجروح، وموادّ لصق الأسنان، وأجهزة تنقية المياه، والملابس الخالية من البُقع، وفرشات الأسرّة، وشوك الأكل والملاعق والصحون والأواني، والملابس التي لا تتّسخ أو لا تبتلّ بفضل تغليفها بموادّ النّانو. وجميع هذه المنتجات متوافرة في السوق. أضف إليها المحفزات الصناعية، والطلاءات الواقية المخففة للوهج الشمسيّ في النظارات الطبية أو الشمسية، وموادّ الطلاء التي تسمح بتنظيف أسهل للزجاج، وواقيات أشعة الشمس ومستحضرات التجميل، والمنتجات المساعدة في الصعود إلى المركبات، والمصدّات والمحوّلات الحفّازة في السيارات، وكُرات مضرب أطول عمرًا، ومضارب التنس الأقوى والأخفّ وزنًا. والجليُّ أنّ الصناعة الكيميائيّة هي المستفيد الأوّل من تكنولوجيا النّانو؛ فالكثير من الشركات أو المؤسسات الناشئة تستفيد من بيع موادّ جسيمات النّانو على شكل سِلَعٍ في سوق تقترب من ٥٠٠ مليون دولارٍ أمريكيّ حتى الآن.

نستنتج مما سبق أنّه لا يوجد أي اختراق حقيقيّ حتى الآن في مجال التطبيقات المتقدّمة. فعلاج الأمراض ما زال مسألة مفتوحة. ومَعَ أنّ المجازفة في إنفاق بلايين الدولارات باتت عالية، وأنّ التحدّيات لم تُحلّ بعد، فإنّ العائد ربّما يكون فلكيّا بوجود متّسع للاكتشاف والابتكار والاختراع والإبداع. وهذا هو الوقت المناسب للبلدان النّامية ذات الموارد المعقولة لتُدليَ بدلوها في هذا الميدان، وتجنيَ ثماره، وتظلّ مواكبةً للتقدّم في العلم والتكنولوجيا.

التكنولوجيا والعسكرة

إنّ الكتابة عن التكنولوجيا لن تكون مكتملة من دون التطرق إلى مسألة عَلاقة التكنولوجيا بالنّواحي العسكرية. وعلى وجه الخصوص، فإنّه لمثير للاهتمام التفكير في أصل التكنولوجيا وطبيعتها وآثارها في العالم القديم؛ فضلاً عن العالم الحديث، وعالم ما بعد الحداثة. ونرى أنّ هذا الموضوعَ يستحق كتابة مقال خاصّ به. لكن يمكننا أن نقول بإيجاز إنّه كان ثمّة جدل دائر حول من يقود الآخر؛ وكيف تتغير العلاقة بينهما وتتطور مع مرور الوقت. في الوقت الرّاهن، هنالك اعتقاد أن العسكرية، خاصّة العسكرية الحديثة، هي المحرك الأساسي لتطوير التكنولوجيا إلى حدّ بعيد. على سبيل المثال، فإنّ مجموعة كبيرة من التطوّرات التكنولوجية في الولايات المتحدة الأمريكية اليوم تأتي في سياق مشروعات مهمة موجَّهة، مُموّلة من الجيش، وسلاح الجوّ، وسلاح البحرية، ووكالات الدّفاع المعنية.

إلاّ أن غالبية الناس يعتقدون، إلى حدّ كبير، أنّ العسكرية تستغلّ إنجازات التكنولوجيا التي تدفع بها حاجاتُ الأعمال وطلبات المستهلك. إنّ استخدام التكنولوجيا لأغراض الصيد وجمع الغذاء للبقاء على قيد الحياة هو ـ بالتأكيد ـ أمر قديمٌ قدَم الجنس البشريّ. وفي العصر الحديديّ، كان الحديد يُستخدم بشكل بارز في صُنع أدوات وأسلحة للصيد. وتطوّرت الصناعة الحديدية في المجال العسكريّ بإدخال عملية «الكربنة Carburization»، التي يُدخَل فيها الكربون في فلزّ لجعل سطحه أشدّ صلابةً وأكثر مقاومة للتآكُل. لقد استُخدم فلزّا الحديد والنحاس بشكل أساسيّ لصنع الأسلحة والدّروع؛ كما استُخدم الخشب والتراب والحجر لتشييد المرافق العسكرية. وجاء استخدام الفولاذ في المجال العسكريّ، الذي تُوِّج بصنع السيف الدّمشقيّ، باعتباره تطوُّراً مدروسًا.

يُعَدّ پول ڤيريليو Paul Virilio واحداً من أشدّ النقّاد عدوانية للتكنولوجيا، خاصة التكنولوجيا العسكرية. فهو يعتقد أنّ التكنولوجيا تعمل على تغيير العالم، وحتّى الجنس البشريّ، بتأثيرمدمّر للغاية. وقد ردّ على هذا الرّأي بعضُ الذين يعتقدون أنّ هذا التصور يمثّل تصوّراً مَغلوطاً للتكنولوجيا، وأنّهُ ينطوي على نظرة في غاية السلبية

ومن زاوية واحدة. أضف إلى ذلك أنّ هذه النظرة تتجاهل جوانب التمكين للتكنولوجيّات الجديدة.

روّاد تكنولوجيا النّانو: إلى أين يأخذوننا؟

في عام ٢٠٠٥، طرح ستيڤن إدواردز Steven Edwards، الكاتب العلميّ المطّلع والخبير في تكنولوجيا النّانو، كتابًا سلّط فيه الضوء بقوّة على هذه التكنولوجيا. وكان هدفه تقريب فكرة تكنولوجيا النّانو إلى الجمهور العام المهتمّ بالعلم؛ فضلاً عن العلماء، والطلبة، والمنظمات، والصّحافيّين، والسياسيين، ورجال الأعمال. ويرى إدواردز أنّ مقياس النّانو هو الذي يلتقي عنده الفيزيائيون، والكيميائيون، وعلماء الأحياء، وعلماء الموادّ، والمهندسون، لخلق تكنولوجيا جديدة؛ ألا وهي تكنولوجيا النّانو. وهو يَندب في كثير من الأحيان ما إذا كانت تكنولوجيا النّانو خيالاً، أو أملاً، أو رعبًا.

يقول إدواردز إنّه، مَعَ أنّ تكنولوجيا النّانو لا تزال فكرةً من قبيل الخيال العلميّ، فثمة في الواقع منتجات استهلاكية متوافرة تطبق تكنولوجيا النّانو؛ مثل: واقيات الشمس، والطلاء، وكُرات المضرب، والأقمشة التي لا تتسخ، وبعض العقاقير المعتمدة مؤخرًا. وإنّ تنوُّع المنتجات والتكنولوجيات الجديدة التي سوف تنبثق عن علوم النّانو لن تحدّه إلاّ مخيلة العلماء، والمهندسين، ورجال الأعمال الرياديّين، المنجذبين إلى هذا المجال الجديد. ويقدّم إدواردز ما يكفي من الحقائق والتفصيلات لفصل الحُلم بتكنولوجيا النّانو عن تكنولوجيا النّانو الحقيقية، التي هي قاب قوسين أو أدنى منّا. وهذه التفصيلات هي:

- موادّ متفوّقة، أقوى وأفضل وأخفّ وزنًا وأكثر صلابة؛
- عقاقير ذكيّة، تستهدف تحديدًا الخلايا المصابة أو المتضرّرة؛
- أطراف اصطناعية شبيهة بالحيّة، ومفاصل وأعضاء بديلة؛ وحتى عيون اصطناعية؛

- بينيّات Interfaces دماغ وحاسوب؛
- معماريّات حاسوبيّة جديدة، بقدرات وسَعات هائلة؛
- أنواع جديدة من مصادر الطاقة، تقلل من اعتمادنا على الوقود الأحفوريّ.

كما يقدّم الكتاب وجهة نظر واقعية لكيفية تأثير هذا المجال الجديد من التكنولوجيا في حياة الناس في المستقبل المنظور. ويَندب الكاتب في كثير من الحالات ما إذا كانت تكنولوجيا النّانو خيالاً، أو أملاً، أو رُعبًا. لكنّه لا يعرض التطبيقات العسكريّة، أو التخيلات الوحشية، لرابوط النّانو المرعب، وغير ذلك من موادّ الخيال العلميّ.

والجدير بالذّكر أنّ الكتاب على تماسّ وثيق مع الكثير من روّاد تكنولوجيا النّانو؛ ويقدّم نبذة عن خلفياتهم للسماح للقرّاء، خاصّة طلاب الجامعات المهتمين بالعمل في هذا المجال، بتصوّر أفضل لأنفسهم في هذه الوظائف. ومع ذلك، فالتكنولوجيا لا تتطور في فراغ؛ إذ يُسلط الكتاب الضوء أيضًا على التغيرات الاجتماعية والسياسية والاقتصادية المصاحبة للتطور في مجال تكنولوجيا النّانو. إنّ هذا الكتاب هو لجميع المهتمين بالعلوم من عامة الجمهور؛ مثلما هو للكيميائيين، والطلبة، والمحاضرين، والمؤسسات الكيميائية، وعلماء المواد، والصحافيّين، والسياسيين، ورجال الصناعة، والفيزيائيّين، والبيولوجيين.

ومن بين الروّاد الأكثر شهرة الذين ذكُروا في الكتاب: إسحق أسيموف(عظيموف)، وإسحق نيوتن، وشرودنغر، وڤان درڤالز، وداروين، وفاينمان، وبور، وديڤيد أوشالوم، وغرهارد بننغ، ودي برولي، وستيفن هوكنغ، وإديسون. كما ذكر شكسبير، وجيمس بوند، وبيل غيتس. ومن بين السياسيين، ذكر الكثير من رؤساء الولايات المتحدة الأمريكية ونواب الرئيس: كجورج واشنطن، وجيمي كارتر، ورونالد ريغان، وبيل كلينتون، وآل غور، وجورج بوش. ومن المثير للاهتمام أنّه اعتُرف بجامعة إيلينوي في إربانا ـ شامبين باعتبارها المؤسسة الوحيدة التي فيها ثلاثة من الروّاد في ميدان تكنولوجيا النّانو؛ هم: كن ساسليك Ken Suslick، ومايكل سترانو Michael Strano، ومنير نايفة. وفي الختَام، ذكر الكتاب رائدين فقط من أصلٍ

عربيّ، هما : المُنجي باوندي (من أصل تونسيّ؛ لعمله الرائد في مجال الجسيمات النّانوية لكبريتيد الكادميوم)، ومنير نايفة (لعمله في جسيمات النّانو السيليكونية).

الخاتمة

في الختام، ليس ثمّة اختراق حقيقيّ لتكنولوجيا النّانو حتى الآن. ويمكننا أن نقول باطمئنان إنّ التطبيقات المتقدّمة وعلاج الأمراض تبقى مسائلَ مفتوحة؛ مَعَ ومضات تومئ إلى أنها وشيكة التحقيق. وهكذا، فإنّ المخاطرة عالية، والتحدّيات لمْ تُحلّ بعْد. لكنّ العائد قد يكون فلكيّاً. والأهم في هذه المرحلة أن ثمّة متّسعًا للاكتشاف والابتكار والاختراع والإبداع. وتراهن قيادة العالم على عائد اقتصادي كبير للغاية. إنّ هذا لهو الوقت المناسب للبلدان النامية ذات الموارد المعقولة للمشاركة في جني ثمار آخر المستجدّات في العلوم والتكنولوجيا.

ومثلما صرّح إدواردز وآخرون، فإنّه نادراً ما كان يتصوّر قبل عقود قليلة خلَت أنّ تكنولوجيا النّانو سوف تهيمن على القرن الحادي والعشرين، وتؤثّر في حياتنا على نحو لا يمكن التنبّؤ به بصورة تامة حتى الآن. ويحكم تعريف مصطلح تكنولوجيا النّانو، فإنّه من الصغر لدرجة أنه أصغر من أن يُرى بالعين البشرية. لذلك، فإنّ آثاره قد تصيبنا فعلاً بالدّهشة.

المراجع والقراءات الإضافية

[كما وردتْ في الأصل الإنجليزيّ؛ أنظر الصفحتيّن الأخيرتيّن من الملحق المرفَق.]

مُلحق

الأصل الإنجليزيّ لفَصلَي (التكنولوجيا)
و(تكنولوجيا النّانو)، كما وردَنا من
الأُستاذ الدّكتور منير نايفة [مع تحرير طفيف]



University Press, 1994; *War and Cinema: The Logistics of Perception*. London: Verso, 1989.

- Steven Edwards, *The Nanotech Pioneers: Where Are They Taking Us?* Wiley-VCH, Einheim, 2006.

- Howard Huff, *Into the Nano Era: Moore's Law Beyond Planar Silicon CMOS*, Springer, 2008.
- Athanasios Dimoulas, Evgeni Gusev, Paul C. McIntyre, Marc Heyns, *Advanced Gate Stacks for High-Mobility Semiconductors*, Springer, 2007.
- Evgeni Gusev, *Defects in High-K gate Dielectric Stacks: Nano-Electronic Semiconductor Devices*, Springer, 2004.
- Gerhard Wachutka, Gabriele Schrag, *Simulation of Semiconductor Processes and Devices*, Springer, 2004.
- Lorenzo Pavesi, David J. Lockwood, *Silicon Photonics,* Springer, 2004.
- Christoph Brabec, Vladimir Dyakonov, Ullrich Scherf, *Organic Photovoltaics: Materials, Device Physics, and Manufacturing Technologies*, Wiley-VCH, 2008.
- Petty, M.C., Bryce, M.R., Bloor, D. (1995), *Introduction to Molecular Electronics.* New York: Oxford University Press. pp. 1-25; Tour, James M. *et al.* (1998), "Recent Advances in Molecular Scale Electronics". *Annals of the New York Academy of Sciences,* 852: 197-204.
- Tuan Vo-Dinh, *Nanotechnology in Biology and Medicine: Methods, Devices, and Applications*, CRC Press, 2007.
- Rudolf Rigler, Horst Vogel, eds., *Single Molecules and Nanotechnology,* Springer, 2008.
- Challa, S.S., R. Kumar, *Nanomaterials: Toxicity, Health and Environmental Issues*, Wiley-VCH, 2006.
- E.B. Court, A.S. Daar, D.L. Persad, F. Salamanca-Buentello, P.A. Singer, "Tiny Technologies for the Global Good", *Nano Today* (April/May 2005): 14-15; H. Thorsteinsdottir, U. Quach, A.S. Daar, P.A. Singer, "Conclusions: Promoting Biotechnolgy Innovation in Developing Countries", *Nature Biotechnology* 22 (2004): DC48-52.
- Paul Virilio, *The Information Bomb.* London: Verso, 2000; *Strategy of Deception.* London: Verso, 2000; *The Vision Machine.* Bloomington: Indiana

Bibliography and Further Reading

- Feynman's classic 1959 talk: There's Plenty of Room at the Bottom, California Institute of Technology Archives.
- David E. Nye, *Electrifying America: Social Meanings of a New Technology*, 1880, 1940, MIT Press, 1992.
- Jürgen Franz, Virander K. Jain, *Optical Communications: Analysis, Design, Optimization, Application*, CRC Press, 2002.
- *High-performance Materials Timeline*, http://www.greatachievements.org/?id=3805.
- Marcel Pierre Bruchez, Charles Z. Hotz, "Quantum Dots: Applications in Biology", 2007, *Science*; Meo, S.B.; Andrews R.,"Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties, and Applications". *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 26 (3): 145-249.
- Vijay Kumar, ed., *Nanosilicon*, Elsevier, 2008.
- Hartmut Figger, Dieter Meschede, Claus Zimmermann, T.W. Hänsch, *Laser Physics at the Limits*, Springer, 2002.
- Marie-Isabelle Baraton, ed., *Synthesis Functionalization and Surface Treatment of Nanoparticles*, American Scientific Publishers, 2003.
- Do Tran Cat, *Physics and Engineering of New Materials*, Springer, 2008.
- Christie R.K. Marrian, ed., *Technology of Proximal Probe Lithography*, SPIE Optical Engineering Press, 1993.
- "Nanotechnology rules OK!", *New Scientist*, New Science Publications, Jan.-Mar. 1992.
- John D. Cressler, *Silocon Heterostructure Handbook: Materials, Fabrication, Devices, Circuits, and Applications of SiGe and Si Strained-layer Epitaxy*, CRC Press, 2006 .
- Christian Piguet, *Low-Power Electronics Design*, CRC Press, 2005.
- Christian Paguet, *Low-Power CMOS Circuits: Technology, Logic Design and CAD Tools*, CRC Press, 2006.

question; with flashes of being around the corner. Thus, the risk is high and challenges are not yet solved. But the payoff could be astronomical. More importantly at this stage there is room for discovery/innovation and inventership. Leadership at the world seen is at stake with the economical return is extremely high. This is a good time for developing countries with reasonable resources to participate and harvest the fruits of cutting edge of science and technology.

As Edwards and others put it, scarcely imagined a few decades ago, nanotechnology will certainly dominate the 21st century and affect our lives in ways not yet fully predictable. By definition, nanotech is far too small to be visible to the human eye, and so its effects may well catch us by surprise.

nanotechnology is hype, hope, or horror. But he presents no military application, or wild fantasies of horror nano robot predators and other science fiction stuff.

The book is in close contact with many pioneers in nanotechnology, and includes their backgrounds to allow readers, especially college students considering a career in the field, to better imagine themselves in such positions. However, technology does not develop in a vacuum, and this book also looks at the social, political and economic changes attendant upon the development of nanotechnology. This book is for the science-interested general public as well as chemists, students, lecturers, chemical organizations, materials scientists, journalists, politicians, industry, physicists, and biologists.

Among the most famous pioneers, he mentions: Isaac Asimov, Isaac Newton, Schrödinger, Van der Waals, Darwin, Feynman, Neils Bohr, David Awschalom, Gerhard Binning, de Broglie, Stephen Hawking, and Edison. He also includes Shakespeare, James Bond, and Bill Gates. Among the politicians, he mentions several US presidents and vice presidents: George Washington, Jimmy Carter, Ronald Reagan, Bill Clinton, Al Gore, and George Bush. It is also interesting to note that the University of Illinois at Urbana-Champaign has been recognized as the only single institution which has three pioneers: Ken Suslick, Michael Strano, and Munir Nayfeh. Finally, the document mentions only two of Arab origin as pioneers: Mongi Bawendi (of Tunisian origin, for his pioneering work on CdS nanoparticles) and Munir Nayfeh (for his work on silicon nanoparticles).

Conclusion

In conclusion, there is no real breakthrough yet. We can safely say that advanced device applications and solving disease remain an open

Nanotechnology pioneers: where are they taking us?

In 2005, Steven Edwards, an insider and experienced science writer in the area of nanotechnology, presented a book in which he gave a vivid look at nanotechnology. Steven Edwards, goal was to bring nanotechnology closer to the science-interested general public as well as scientists, students, organizations, journalists, politicians, and entrepreneurs. Edwards believes that the nanometer scale is where physicists, chemists, biologists, materials scientists and engineers met to create a new technology – nanotechnology. He often laments whether nanotechnology is hype, hope, or horror.

Edwards says that although nanotech still has a science-fiction aura, there are actually consumer products already available which employ nanotech – sunscreen, paint, tennis balls, non-staining fabrics, and some recently approved drugs. The variety of new products and technologies that will spin out of nanoscience is limited only by the imagination of the scientists, engineers and entrepreneurs drawn to this new field. He presents enough facts and details to separate the hype from the real nanotech that is just around the next corner:

■ superior materials – stronger, lighter, harder, better

■ smart drugs that specifically target infected or malicious cells

■ life-like prosthetics, such as limb, joint or organ replacements, even artificial eyes

■ brain/computer interfaces

■ new computer architectures with immense capacities and abilities

■ new kinds of power sources that lessen our fossil fuel dependence .

The book presents a realistic view of how this new field of technology will affect people in the near future. The author often laments whether

Technology and militarization

Writing about technology will not be complete without addressing the question of technology vs. Military. In particular it is interesting to reflect on the origins, nature and effects of technology on ancient as well as on modern and postmodern world. We believe that this is a subject that warrants an article of its own. But briefly here we can say that there has been a raging debate on who drives who and how did the interrelationship between them develop or change with time. At this time there is a belief that the military, especially modern military is the driver of technology development to a large extent. For instance a whole lot of technology development in the US today is driven by mission oriented projects funded by the Army, Air Force, Navy, and Defense related agencies.

The majority of people however believe that, to a large extent, the military just exploits technology advances that are driven by business and consumer demand. Certainly, the use of technology for hunting, food collection and survival is as old as the human race. In the Iron Age, iron was used prominently as tools and weapons for hunting. Iron-working for the military was enhanced by the carburization process, a process by which carbon is introduced into a metal to make the surface harder and more abrasion resistant. Metal, primarily iron and brass, began to be used for arms and armor. Wood, earth and stone were used for construction of army facilities. The decisive use of steel in military action as crowned by the development of the Damascus sword was thought to be a deliberate development

Paul Virilio is one of the most aggressive critics of technology, especially military technology. He believes that technology is transforming the world and even the human species, with a highly destructive impact. This is countered by some who believe that this is a flawed conception of technology that is excessively negative and one-sided. It misses the empowering aspects of new technologies.

nature trick help us in terms of Self assembly and natural organization often may help us form objects in exact shapes without machining, thus saving manufacturing time and cost. In any case we say that the Holy Grail in this business is to produce large quantities of nano components that are identical size and shape.

Although nanotech still has a science-fiction aura, there are actually consumer products already available which employ nanotech. Successful applications where nanotechnology has made a difference including burn and wound dressings; dental-bonding agent, water filtration devices; stain-free clothing and mattresses; forks, spoons, dishes, pots, and clothes that do not get dirty or wet because they are coated with nanomaterial are also on the market; industrial catalysts, protective and glare-reducing coatings for eyeglasses; coatings that allow for easier cleaning glass; sunscreens and cosmetics; step assists on vans, bumpers and catalytic converters on cars; longer-lasting tennis balls; light-weight, stronger tennis racquets. The chemical industry seems to be the first beneficiary of nanotechnology. Many companies or start ups are benefiting from the sale of nanoparticle materials as a commodity with the market approaching so far 500 million dollars.

The conclusion, however, is that there is no real breakthrough yet in the area of advanced device applications, and solving disease remain an open question. Although the risk of spending the billions of dollars is high while challenges are not yet solved, the payoff could be astronomical, with room for discovery/innovation and inventership. This is a good time for developing countries with reasonable resources to participate and harvest the fruits of cutting edge of science and technology.

shrapnel of powdered heavy metal tungsten alloy (HMTA), which makes forced entry into organs and cells. It would not be surprising if the shrapnel included submicron particles ~ 100-200 nm in size. Scientific studies have found that HMTA is chemically toxic, damages the immune system, rapidly causes cancer, and attacks DNA (genotoxic). Very little testing of its adverse effects if any is available. Tungsten nano powder with an average particle size of 30-120 nm has recently become available commercially. Means of thermal heating, as well as of induced force entry, such as ballistic entry into cells must be developed to conduct real testing.

In fact Europe & Japan: are already debating banning the use of heavy metals nanos in house-hold applications, such as commercial displays. US FDA control is expected to follow suit. We should note that silicon-based nanotechnology is least toxic and it is the most biocompatible & compatible with the environment. It does not require further processing or shielding and is expected to dissolve in the body into silicic acid, an acid found in the body. Ebtesam AlOlayan from King Saud University is presently testing the toxicity of silicon nanoparticles, dissolved in cosmetic products, using in vitro as well as animal testing. We are reminded of how much silicon we deal with directly or indirectly by just mentioning Si-based body implants and computers

Will nanotechnology prove to be the platform technology of the 21st century?

Nanotechnology as of today suffers from several fundamental killing problems that may slow its realization as the platform technology of the 21st century. One of the main challenges is the question of whether the World will be able to create nanomaterial with Precision, Control and repeatability, in due time, Competitive cost, large enough volume, and Satisfy consumer demand and Meet safety requirements. In this regard, Will

enough volume to satisfy consumer demand and meeting safety requirements are two other important constraints. Even if those conditions are met, there is still the major problem of delivering the nanos to the right places and in a short order. If we have to move and handle one nano at a time, it will take infinitely long time. Concepts like self assembly if applicable would make the technology viable. But for particles to self assemble they need to be identical. These are major challenges and obstacles that make or break any nano tech application

Low-cost nanotechnology

Another interesting feature of nanotechnology is the fact that some aspect or phase of nanotechnology is low cost, and of highly interdisciplinary field. In this regard, there is ample opportunity to pool resources: human, financial and technical. It is also considered as one of the most effective catalyst for substantial university-industry-government partnerships. It is even suited for real international cooperation where developing countries can participate and contribute at the cutting edge

Environment, safety and social issues

When working in nanotechnology one needs to consider safety issues including effects on genes, heredity and society. The technology in large part uses toxic chemical methodology which has potentially harmful effects. Also in the case of heavy metal nanoparticles such as cadmium, lead or tungsten, there is evidence that such particles may not flush and stay as a poisoning centers in one's body. Being small it is hard to track and it is impossible to find or remove. The nano poisoning is similar to the dime (dense inert metal explosives) weapon, which was most recently used against Gaza civilians. Dime bombs produce an unusually powerful blast within a relatively small area, spraying super-heated micro-scale

Spending, market, initiatives, and workforce

The importance of nanotechnology is highlighted by the billions of dollars that have already been spent to develop this area worldwide as well as by market size projections of dollars that experts keep coming up with: $340 Billion for materials; $300 Billion for electronics, $180 Billion for pharmaceuticals, $100 for chemical manufacturing; $70 B aerospace; $20 Billion modeling tools; $30 Billion improved healthcare; $45 Billion sustainability; or $1Trillion in 10-12 years.

Most western countries have come up with national initiatives outlining their R & D and commercialization policy in this technology. They also allocated major governmental funding as well as encouraged the private industry to participate. Asian countries and Japan followed suit. Recently some developing countries have entered the race. In specific there is a concerted effort to champion this technology in Saudi Arabia. King Abdulaziz City for S & T (KACST) launched a national nanotechnology initiative. The Ministry of Higher Education allocated major funding to establish centers of excellence in nanotechnology. King Abdulla has stressed this area and made direct contributions to universities that they may launch nanotechnology programs. King Saud University, King Fahd University and King Abdulaziz University each established a center. KSU elected to establish an institute by the name of "The King Abdulla Institute for Nanotechnology (KAIN)".

Conditions for successful nano industry consumer products

It is very important to realize that there are conditions required for successful commercialization of a nano-based product. This includes producing same size and shape of nano components with precision, control and repeatability, in due time and at competitive cost. Production of large

5. Drug-delivery: intelligent drug-delivery nanosystems can release drugs at the right time in a single dose and last a long time for treating tuberculosis or HIV

6. Food processing and storage: nanofilms can do away with the need for refrigerators

7. Air-pollution clean-up: titanium-dioxide nanoparticles in sidewalks or house paint that, in the presence of sunlight, catalyze the breakdown of several pollutants

8. Construction materials for cheaper, stronger housing (super tents with great insulation and soundproofing)

9. Health-monitoring. They could help patients monitor key signs, such as glucose or cholesterol levels

10. Pest detection and control, including improved pesticides and insect repellents.

Commercialization of nanotechnology products

The question that comes to mind is what are potential products nano technology can offer? Most people who are knowledgeable in the field would quickly answer "in principle, everything". But then why has not delivered yet despite three billions of dollars already spent and the volume and number of researchers involved? To shed some light on this, we need to think about conditions for successful nano industry consumer products, and environment and social issues (positive and negative), technology and militarization, and tackle the question "Will nanotechnology prove to be the platform technology of the 21st century?"

particle-based films: mixing silicon nanoparticles with epoxy glue and phosphorous material and laying down films or composite films of colored (single sized particles) to improve white commercial LEDs. Also work is being conducted on production of multilayer films of nanoparticle/convertor for further improvements.

The grand challenge initiative for developing countries

Peter Singer has been talking about a grand challenge initiative of nanotechnology. This has been in response to a proposal by Canadian Prime Minister Martin. He proposed devoting 5 percent of the country's research and development budget to technologies that would help the developing world. "If every industrialized country pitched in, we could see $50 billion." Peter Singer came up of the Top Ten application of nanotechnology that would be relevant in this regards of course in addition to defense and Data storage or communication. Singer's list follows:

1. Energy storage, production & conversion: semiconductor quantum dots or nanoparticles boost the efficiency of solar cells); carbon nanotubes, which are stronger than steel, help store hydrogen

2. Agricultural productivity enhancement: Nanoporous minerals Zeolites can control release of nutrients

3. Water treatment and remediation: Nano filters that can desalinate water and purify water of bacteria and viruses much more efficiently and with much less volume. Nanomagnets that can be sprayed onto oil spills and separate the oil from the water, cleaning up pollution

4. Disease screening and diagnosis: labs-on-a-chip uses just a drop of a patient's blood to conduct a sophisticated battery of clinical tests.

nary results obtained show significantly increased capacitance of the film as a result of incorporating the nanoparticles in the film. The significantly enhanced capacitance of the PANI-particle film shows a pseudo-capacitance nature. The preliminary result indicates the potential of using the particle-conducting polymer composite to construct supercapacitors with ultrahigh charge storage capability.

Nano-LED: The current manufacturing process of white LEDs has not matured enough to be produced cost-effectively. For instance, there is room for improvement in the present LED technology, including the development of more efficient UV/Blue LEDs. There are also problems with the white convertors, such as phosphors and their ability to emit a broader wavelength spectrum light. In particular, the untunability of absorption and emission, and inflexibility of form in phosphors have been issues in their spectral capabilities. In addition, phosphors films are found to have appreciable reflectivtiy causing a non-nigligible fraction of the LED light to go back to the LED, which causes heating effects may hold driving the LED harder. More rigourous heat disspiation designs must be used. Because the phosphors respond more strongly to the blue portion of the LED light, the transmitted UV portion is hazardous to the consumer vision. With systems operating at high intensity, efforts should be made to incorporate UV blockers. The same problems may be said about organic pigments. PolyBrite International LED Lighting Company in Chicago headed by inventor Carl Scianna is an innovator of white LED lighting systems. It combines polymer with light emitting diodes (LEDs), along with proprietary electronics, to produce the latest advances in white LED lighting. PolyBrite is presently working with Nanosi Advanced Technology a start-up company from the University of Illinois group is working on the development of NanoLEDs to improve efficiency and color quality. The team is working on preparation of silicon nano-

Energy and lighting

Nano fuel and nano solar cells: A thin film of silicon nanoparticles on highly doped silicon electrode acts as a catalyst for oxidation of ethanol and methanol or glucose. Yau?s group at Cleveland State University in collaboration with Nayfeh?s group at the University of Illinois used this process to build a prototype of a bio fuel cell for generation of miniaturized power source. This promises to enable the development of high density, compact energy sources for portable power generation as well as in the development of micro devices for distributed small-scale energy generation and associated infrastructure. Implantable modules for uses such a pace maker or sugar monitoring in diabetic patient is among the applications.

A thin film of nanomaterial such as luminescent semiconductor nanoparticles can theoretically enhance the performance of solar cells. For instance, a thin film of silicon nanoparticles of 1 nm or 2.9 nm particles on a conventional silicon solar cell acts as a top cell that enhances its performance. The thin film improves the power performance in the UV/blue by nearly 50% and in the visible by 10%. Morevoer, by intercepting the otherwise damaging UV part of the spectrum and converts to useful power, the nanofilm prolongs the operating lifetime of the cell. This achievement was demonstrated by a collaborative effort of the groups of Mohammad Al Salhi from King Saud University, Turki Al Saud from King Abdulaziz City for Science and Technology, and Munir Nayfeh from the University of Illinois.

Nano supercapacitors: A collaborative effort between Yau group of Cleveland State University and Nayfeh group of the University of Illinois has succeeded in constructing a nano-polymer super-capacitor. Silicon nanopareticles were incorporated in a thin film of polyaniline, a conducting polymer. The polymer is often used in supercapacitors. The prelimi-

tion. Filtration employs a pressure gradient to selectively transport solvent and certain solutes across a membrane. The process is similar to reverse osmosis. Nanomembranes tend to be slightly more permeable, which requires less pressure and hence less energy. Another attribute is that it is selective as it is able to remove specific salts such as $MgSO_4$. Reverse osmosis generally focuses on the removal of all salts from water. The applications include water softening and removal of pollutants, such as herbicides, from potable water. This technology can also be upgraded by employing multilayered polyelectrolytes as high-flux nano filtration membranes. Multilayer membranes can separate monovalent and divalent anions (Cl-/SO42- selectivity as high as 1000) as well as small organic molecules such as glucose and sucrose. Thus far, scientists have achieved fluxes that are as much as 3-fold higher than those of state-of-the-art commercial membranes, while still achieving high rejections of SO42- and small organic molecules. Scientists have also separated gases such as O_2 and N_2. Membranes are ultrathin, thus they allow high fluxes.

Nano catalyst: Thin films of nanoparticles may act as a catalyst for several processes. Nano films have more surface area per mass than a flat bulk material. For instance a gram of titanium oxide nanoparticle of 5 nm diameter has 170 m^2 surface areas. Since catalytic activity is proportional to the surface area, one could see why the nano film is a better catalyst than its equivalent bulk. This material is used for environmental purification as it kills bacteria in the air or in water supplies and breaks up molecules causing bad odors in stuffy places like refrigerator or the cockpit of fighter plane. For the particles to work best they have to be exposed to light especially UV. Incident light charges the surface of the particle which zaps the bacteria or the molecules that fall on them in an effective photo-catalysts process for environmental purification. This film can also be used as a nano-porous membrane for filtration.

ing Yu at Riley Children Hospital in Indianapolis, USA stained Kidney cancer cells from a dog and imaged the particles on the cells using a powerful two-photon femto second scanning microscopy. Hanan Malkawi used them to stain E-coli bacteria and imaged them using a powerful electron microscope at Yarmouk University. Mona Hassonah stained breast cancer cells and imaged them using a fluorescence microscope. Those are fluorescent particles thus they enable fluorescent nanosensors (a fluorescent marker) for ultrasensitive analysis of living cells. If successful, it would be a viable alternative technology to presently used organic fluorophore technology.

Nano cosmetics: Current active research in skin care product development focus on the use of the most advance practices of microbiology and nanotechnology in the cosmetic industry. Scientists are examining a wide array of new and emerging cosmetic compounds from anti-aging, skin care and repair, moisturizing, and protective compounds to agents with antimicrobial and anti-irritant properties. Metal (gold, silver, platinum) nanoparticles as well as metal oxides and carbon nanoparticles are being added to the products. Silicon nanoparticles are being considered. Ebtesam Alolayan of King Saud University is evaluating the toxicity of the nanoparticles dissolved in skin oil as well as volatile silicon oil using animal subjects. Nanoparticles are intended for use to protect against ultraviolet and to provide an oxidative alternative path to radficals to alleviate the oxidation of cells. The use of nano material is presenting new issues with regard toxicity, safety and development of state-of-the-art safety assessment technologies and regulations.

Chemical technology

Nanofiltration: One promising application is in the area of water filtra-

drimers). Those could be as small as or less than five nanometers. They are sent through membranes into white blood cells. They can be programmed to detect biochemical changes or pre-malignant and cancerous changes inside living cells from radiation for example. Fluorescent tags may be attached to the dendrimers, which glow in the presence of proteins associated with cell death.

Nano sensors for chemically or biomedical important substance may be constructed from metal as well as semiconductor particles. Nanometer-sized gold particles are encapsulated by monomolecular layers of alkanethiol surfactant. This encapsulation works because sulfur tends to assemble on gold. The encapsulated particles are then deposited as thin films on inter digitized microelectrodes. The film is capable of sensing hazardous vapors. A film of silicon nanoparticles placed on a highly doped silicon or a graphite substrate acted as a sensor for glucose, relevant to diabetes diseases or dopamine neuron drugs.

Single molecule and cell imaging in living cells: Luminescent nano particles are important for biomedicine especially if the nano material is highly bright with high quantum efficiency of emission. In this application, the particles are coated with functional groups such as carboxyl acid, amine, or thiol. The surface becomes chemically active such that it can be linked to antibodies of a certain disease. When those are added to a laboratory sample or injected in the body they should be able to attach to the expression of the disease that has been targeted, hence stain the cell or molecule. Because some of the semiconductor particles available today are bright enough such that light from a single one can be observed with present medical technology, a single diseased molecule or cell can be identified and monitored dynamically. The semiconductor particles of CdSe or CdS of ~ 5-8 nm in size have been used by Alivisatos and Nei. Also Si nanoparticles have been used in this kind of application. Weim-

thermore, the simplicity of this approach also offers significant economic edge over the conventional approach in which the escalating costs of wafer processing facilities are approaching tens of billions of dollars.

Quantum computing: Breakthroughs occurred in the area of quantum computing in the late 1990s. Quantum computers under development use components of a chloroform molecule (a combination of chlorine and hydrogen atoms) and a variation of the medical procedure, magnetic resonance imaging (MRI), to compute at a molecular level. Scientists used a branch of physics called quantum mechanics, which describes the activity of subatomic particles (particles that make up atoms), as the basis for quantum computing. Quantum computers may one day be thousands to millions of times faster than current computers, because they take advantage of the laws that govern the behavior of subatomic particles. These laws allow quantum computers to examine all possible answers to a query at one time. Future uses of quantum computers could include code breaking and large database queries.

Health

Nano bio / chemical sensors: Nanotechnology has been used to build a variety of nano sensors to monitor cellular activity or sensitive sensor of contaminants. We will here give some examples of this technology. One interesting nano sensor is built using a quartz optical fiber of extremely small dimensions (10-100 nm range). An antibody (to Benzo [a] pyrene tetrol (BPT)), is covalently attached to the tip of the fiber. The fiber is inserted in a cell to monitor the BPT activity. Establishing the capability of monitoring biochemical processes in single cells would definitely find its way to applications in chemical and biological warfare early sensing and defense, or for the protection of the soldiers and the general population.

Another example utilizes nano polymer particle spheres (called den-

technology. One aspect of molecular electronics is the fabrication of devices whose function is governed by single molecules. Although quite promising, fundamental new challenges are in the way of the realization of single molecule devices. These challenges place estimates of their mainstream applications around the middle of the 21st century. The incentive for such radical change is that molecules are naturally occurring nanometer-scale structures. For instance a chain of aromatic rings connected together by acetylene linkages may act as a wire that conducts electricity and can be used to connect devices. Thiol (-SH) functional groups attached both ends of the molecular wire act as ?alligator clips? for attaching molecular electronic units to metal substrates. Carbon nanotubes might be used as electric wires or as support for molecular circuit elements?e.g., filled with conducting metal atoms to create among the structurally strongest nanowires chemically possible. Other formations of molecules may act as a diode rectifier or amplifier as in a transistor. On the other side of the field, DNA molecules and nanoparticles can be used as molecular electrical characterization.

Unlike nanostructures built from bulk solids, molecules can be made identically, cheaply, and easily, by the billions of trillions that will be needed for industrial-scale production of ultra-dense nano electronic computers. Two significant challenges are to devise molecular structures which act as electrical switches, and to assemble these molecules into the precise extended structures needed for reliable computation. Exciting theoretical and experimental progress toward these goals is just beginning.

Not surprisingly, molecular electronics was named “the breakthrough of the year” by *Science Magazine* in 2001. The unique potential of molecular electronics is the ?bottom-up? self-assembly of inherently small objects such as molecules into devices and circuits. This represents a paradigm shift compared to the semiconductor ?top-down? approach. Fur-

with moderate efficiency. Nayfeh?s group at Illinois constructed nano photodetectors by deposition of 1 nm Si nanoparticle films on Si p-type substrates, with good conversion efficiency under UV irradiation.

Laser on a chip: Now that light can come out of silicon naoparticles and efficiently, Lorenzo Pavesi in Italy in was working in competition with the Illinois group to test for laser action from silicon. He implanted silicon ions or atoms using an accelerator in a glass slab and heated it to high temperatures till the silicon ions started to move more freely in the substrate. When the substrate was subsequently cooled, the Si atoms nucleated to form silicon nanoparticles of ~ 3 nm diameter (like rain droplet formation). He tested the glass slab and reported in Nature signs of gain, which implied that laser action is feasible if other conditions are provided for. Meanwhile the Nayfeh's group a series of papers in Applied Physics Letters, using the already made silicon nanoparticles, reported observation of stimulated emission, a sign of feasibility of laser action and also observation of very small "micro" shooting beams from collection of particles. Thus, in addition to being ultra bright, reconstituted films or aggregates of the particle family appear to exhibit the phenomenon of stimulated emission, which is a necessary condition for the production of laser beams. When Nature magazine reported the results of the Pavesi's and Nayfeh?s groups in its reporting section it noted that light-emitting Si devices, if proven, could eventually result in a laser on a chip, new generation of Si chips, and extend the functionality of Si technology from microelectronics into optoelectronics.

Beyond silicon computing

Molecular organic electronics: An alternative to the field-effect transistor is a molecular electronic device. It is currently one area being studied as a potential successor to conventional silicon-based electronics

omemory devices, opening the way for integration of Si nanoparticles in standard Si CMOS platform, with potential scaling down to 1 nm.

On chip and chip to chip communication: As devices become smaller and smaller metal interconnect wires will become the limiting factor and the bottle necks. Alternative optical interconnects architecture for on-chip data communication is of substantial interest to overcome speed and signal integrity concerns in future electrical interconnects. There is an on-going effort to develop highly-efficient nanomaterial-based devices as nanosensors and photodetectors for applications in chip-to-chip and board-to-board optical interconnects. It is estimated that by 2010, when processors exceed clock frequencies of 11.5 GHz, optical interconnects may be needed to avoid chip-to-chip and on-chip bottlenecks. Moreover, one of the most significant factors limiting future microprocessor performance and one of the great consumers of microprocessor power is the clock distribution network. As an alternative to balanced electrical clock distribution networks is the use of an optical distribution network at the global level. Light can be distributed to multiple receivers across the chip with low skew. If this light can be efficiently converted to an electrical signal, this idea becomes a viable alternative.

Current photodetector and phototransmitter technology utilizes III-V systems, such as GaAs. Because silicon-based detectors are fabbed in a conventional silicon CMOS process, the potential for cost reduction compared with non silicon-based detectors is significant. Recently, IBM researchers have improved the silicon-based detector technology. They monolithically integrated a photodetector that achieves a much higher data detection rate, 10-Gbps, than previously discussed silicon photodetectors, advancing the way to chip-to-chip and board-to-board optical interconnects. Nano photodetector systems based on films of Si, Ge, and GeSi nanoparticles or quantum dots have been recently demonstrated, but

terms of both scaling and the speed, and capacity requirements of next-generation mobile communications. Scaling has now become a serious issue for the memory industry. By 2010, NanoMarkets predicts that four key segments will have emerged in the nano-enabled memory markets: MRAM, Ovonic, Holographic and Nanocrystalline.

One of the most important nanotechnology solutions is silicon nano-particle technology, which was first proposed by Tiwari and Hanafi at IBM. This nanotechnology replaces the solid silicon gate with a large number of tiny silicon crystals separated by minute amounts of insulation. The result: much less insulation is needed, so that the memory occupies half as much space. Or, in other words, a flash-based gadget can carry twice as many songs. Cutting down on insulation also decreases the voltage needed to store information. This makes it much easier to integrate flash memory with information processing on the same chip, which reduces costs Nanoparticle memories can bring non-volatile memory right onto the CPU chip, increasing data access times and reducing power and chip count

Several groups and companies are racing to implement the silicon nanoparticle technology. Important firms such as Intel, Freescale, Micron, Samsung, and STMicroelectronics are beginning to settle on new technology platforms for the post-Flash era and are finding ovonic and nanocrystalline memories increasingly to their liking. As a prototype to memory cells, MOS capacitor devices containing the ex-situ produced, identical (constant size), spherical, 1 nm Si nanoparticles were fabricated at MIT (by a joint team from MIT (Osama Nayfeh and Demetri Antoniadis) and from the University of Illinois at Urbana-Champaign (Kevin Mantey and Munir Nayfeh) for use in future flash EEPROM devices, without changes to the standard CMOS fabrication process. With constant size 1nm particles, we demonstrated the characteristics of ideal nan-

further development aiming higher device performances. HDICs performances have been improved by shrinking transistor?s dimensions which are now at the nanoscale. Low dimensions led to device engineering such as the AHLATID, LDD, Large angle Tilt, LATID or drain engineered MOSFETs. ONO MOSFETs are introduced to increase gate dielectric breakdown, which is more pronounced using high k dielectric such as Hafnium oxide HfO2. Besides the engineered MOSFET, SOI (Silicon On Insulator) is an alternative technology to overcome short channel effects (especially hot carriers) in HDICs. SOI devices can be single or double gate, rectangular or surrounded gate. Bulk MOSFETs are featured to include drain halo doping to reduce impact ionization near the drain regions.

New device technologies are introduced in the case of NanoMOSFETs, Ultrathin body MOSFET and ballistic MOSFETs in which electronic transport models are based on ballistic transport are the candidates for the future HDCIs. The CNFET (Carbon Nanotube MOSFET) is another alternative of NanoFETs but not ready at all for the HDICs integration. The same thing is observed in the case of the Molecular Transistor which is under investigation and developments.

Nano memory device: Flash memory, which is a nonvolatile form of memory (it requires no power to store information), is increasingly common in consumer devices. Today's flash devices store information by applying an electric field to a "floating gate" – basically a chunk of polycrystalline silicon – at the center of a transistor. This gate is surrounded by an insulating material, which needs to be relatively thick so that small defects in it don't allow the charge to leak out. As a result, a device like the flash-based iPod Nano, which packs four gigabytes of memory into its small frame, is still carrying around a lot of inactive material.

These Current traditional memory solutions are reaching their limits in

leagues.

Germanium nano transistors on silicon: Electrons move faster in pure germanium than in silicon hence it would be reasonable to switch over from silicon transistors to germanium transistors. This is why germanium (Ge) has been emerging as a viable candidate to augment if not replace silicon for electron device applications. However, we would like to keep the silicon substrate because there are other important or even critical needs for the silicon substrate. This includes other device requirement, cost, and environmental instability since germanium oxide dissolves in water. Keeping the silicon substrate requires growth of a thin germanium layer over it. However, growing over or integration in silicon technology is hampered by the large mismatch between their structures since the interspacing of atoms in Ge is larger than that of silicon by 4%. The mismatch results in growth that is dominated by "islanding" and misfit dislocations. These dislocations are normally formed at the Si substrate/Ge film interface terminating at the film surface as threading dislocations, thus degrading device performance. Recently a group at Stanford University (Ammar Nayfeh and Krishna Saraswat) developed new methods for solving this problem. In these methods, Ge growth on Si, which is usually hampered by the large lattice mismatch (4%), has been accomplished by the incorporation of hydrogen annealing in the growth recipe. This reduces the Ge diffusion barrier, dramatically improving the surface roughness. This would allow integration with the Si electronic standard technology for high-performance applications. The Stanford group successfully used this novel heteroepitaxial growth technique to demonstrate high-performance transistors in germanium grown directly on Si.

NanoMOSFET tansistors

High density integrated circuits (HDICs) are facing challenges in their

transistors to upgrade it to quantum-effects and single-electron solid-state devices. The transistor becomes digital and operates at extremely low current of a single electron, becomes faster, and needs much less energy to run.

Strained nano transistors: At this point in miniaturization, some scientists found that there is room for improving the speed of the transistor without making it smaller. We can make the transistor go faster if we slightly stretch it such that the silicon atoms in its gut move to distance beyond their normal interatomic distance. This is analogous to mechanically stretching a plastic sheet. The transistor or the silicon is then called strained. In actual device fabrication, silicon is not stretched mechanically. It is simply stretched by growing it over a material whose atoms are spaced out more than those of silicon like germanium. Ge atoms are further apart by a small percentage of 4% than Si; but it is sufficient. This is accomplished by first growing an alloyed substrate of silicon germanium (SiGe). Then a thin layer of silicon is grown over. Putting the layer of silicon over a substrate of silicon germanium (SiGe) strains it. For instance, as the atoms in the silicon layer align with the atoms in the silicon germanium layer where the atoms are farther apart, the links between the silicon atoms become stretched – thereby leading to strained silicon. When the silicon atoms move farther apart from each other the atomic forces between them drop. These forces interfere with the movement of electrons or flow of current through the transistor. The drop in the forces therefore allows the electrons in the chip to move faster, which results in better chip performance and lower energy consumption. These electrons can move 70% faster allowing strained silicon transistors to switch 35% faster. This effect was demonstrated by a group at MIT (Hasan Nayfeh and Demetri Antoniadis). A sizable improvement was achieved and was put recently to practice into devices at IBM by Hasan Nayfeh and Col-

fact, the microelectronics industry is quite advanced in mass manufacturing miniaturized devices, such as integrated circuits or nano electro mechanical systems (NEMS). For this goal, the industry utilizes a variety of advanced procedures. Optical lithography is one. It has been the predominant patterning technique since the advent of the semiconductor age, is capable of producing sub-100-nm patterns with the use of very short wavelengths (currently 193 nm). Extreme ultraviolet lithography (EUV) is a form of optical lithography using ultra short wavelengths (13.5 nm). Other nanolithography techniques include X-ray lithography can be extended to an optical resolution of 15 nm by using the short wavelengths of 1 nm for the illumination. Work is in progress on an optical mask-less lithography tool. This uses a digital micro-mirror array to directly manipulate reflected light without the need for an intervening mask.

However, the laws of quantum mechanics and the limitations of fabrication techniques may soon prevent further reduction in the size of today's conventional field-effect transistors (FETs). Many investigators in the field of next-generation electronics project that during the next 10 to 15 years, as the smallest features on mass-produced transistors shrink from their present lengths of 250 nm to 100 nm and below, the devices will become more difficult and costly to fabricate. In addition, they may no longer function effectively in ultra-densely integrated electronic circuits.

When one reaches the limit of size quantum dynamics of motion of charge kicks in strongly and begin to dominate. We can take advantage of the various quantum effects to build nanometer-scale electronic switching devices for use in building ultra-densely integrated electronic computers can be built based on the quantum effects. On another front, many groups at academic institution and industry have been experimenting with silicon nanoparticles. They embedded them in the guts of the

from government, industry, and academia to address some of the challenges faced by the industry. Among the questions facing us are: are we approaching the limit of advancement using silicon so we may move to alternative material in building the new generation of chip making? Is there room for additional silicon-based technologies? Can we afford to leave silicon behind? The conclusions included three major thrusts:

■ Sustain the scaling of traditional silicon CMOS manufacturing technology to its ultimate limit;

■ Provide alternative, scalable, and sustainable benign-high performance materials and manufacturing technologies for silicon CMOS alternatives;

■ Create options for integrating heterogeneous nanoengineered functional materials with silicon CMOS technology, enabling a commercialization path for nanotechnology innovations.

The material tools presently being considered include:traditional silicon technology, strained silicon, quantum and molecular computing, germanium silicon alloys, high dielectric constant (K) metal non-silicon gate, carbon-based (tubes/graphene), nano-structured silicon, compound semiconductor III-V (InSb, InAs, InGaAs) and InAlAs insulators, compound and Ge-based semiconductor substrate. In addition to these challenges, there is ever increasing demand for trusted chip making. Advanced Micro Devices (AMD) has just struck a deal in March 2009 to partner with Abu Dhabi to found a new chip making company. Abu Dhabi invested 4.3 billion dollars in this project. The company will build a site in New York, upgrade a site in Dresden, Germany as well as build a new one in Abu Dhabi in 2015. It remains to be seen whether this project will make Abu Dhabi another epicenter for technological innovation, and another Sand Hill Road.

Shrinking transistors: For the past 50 years, electronic computers have grown more powerful as the transistor, the basic subunit, has shrunk. In

filtration devices; stain-free clothing and mattresses; forks, spoons, dishes, pots, and clothes that do not get dirty or wet because they are coated with nanomaterial are also on the market; industrial catalysts, protective and glare-reducing coatings for eyeglasses; coatings that allow for easier cleaning glass; sunscreens and cosmetics; step assists on vans, bumpers and catalytic converters on cars; longer-lasting tennis balls; light-weight, stronger tennis racquets. The chemical industry seems to be the firsf beneficiary of nanotechnology. Many companies or start ups are benefiting from the sale of nanoparticle materials as a commodity with the market approaching so far 500 million dollars.

Advanced applications

We would like now to present some applications that are being contemplated that are of critical importance to solving societal problems in the health, energy and lighting food, transportation, such as building faster but smaller transistors, memory, biomedical sensors, drug delivery, photodetectors, displays, etc.

The new generation of chipmaking

The semiconductor industry has established an aggressive goal to continue Moore's law scaling for the next fifteen years, obtaining features sizes below 10 nanometers in the limit. The array of technology challenges faced by the industry if it is to achieve these objectives are formidable and certainly involve the creation and manufacture of objects whose dimensions are within the feature size regime of nanotechnology. Several workshops were conducted in recent years, where specialists convened

Nano-lithography/imaging – the smallest graffiti in the world

The microelectronics industry is quite advanced in mass manufacturing miniaturized devices, such as integrated circuits or nano electro mechanical systems (NEMS). For this goal, the industry utilizes a variety of advanced procedures, such as optical lithography, extreme ultraviolet lithography (EUV), and X-ray lithography.

Nanolithography techniques have been inching into the industry. The most common introduction is beam of electrons or ions to produce a pattern or a burn – typically in a polymeric resist of down to 10 nm or better. Other more modern instruments were introduced that would allow even deeper nanometer-scale patterning by a family of scanning probe microscopes. For example, individual atoms may be manipulated using the tip of a Scanning Tunneling Microscope (STM), and simultaneously can image or observe them. The smallest patterns (graffiti) in the world written using these techniques at IBM, University of Illinois (present author Nayfeh), Hitachi, were featured on the cover of the British Magazine *New Scientist*. Dip-Pen Nanolithography is the first commercially available SPL technology based on Atomic Force Microscopy. But these devices are very slow because they require the movement of tungsten or gold tip with a finite mass. This is no match to the speed which one can deflect light, electrons, or ions. Thus it is said that you can improve the patterning resolution with these devices such as you can store the whole library of congress on one disk, however it would take you forever to do that.

Mundane applications

There are actually consumer products already available which employ nanotech. Successful applications where nanotechnology has made a difference including burn and wound dressings; dental-bonding agent, water

surface. The chemical reactions between the gases and the surface naturally terminate after the completion of a "monolayer" exactly one molecule thick. ALD can deposit a variety of materials, including oxides, nitrides, sulfides and metals. More efficient and less costly solar cells, solid-state lighting and industrial catalysts are potential applications of atomic layer deposition (ALD). Other potential applications are improved superconductors and separation membranes.

Nano alignment / nanotube composites: One very interesting example of nano alloys and self alignment is found in the recent inspection of the old Damascus sword. Peter Paufler and colleagues at Dresden's Technical University in Germany recently discovered carbon nanotubes in the microstructure of a 17th century Damascus sabre. The sword was invented in Damascus. It was the strongest sword in the world. Yet it was very light and thin. It is so sharp and hard. It cut a silk thread without bending it and silk sheets get cut by just falling on it. Paufler and colleagues wrote: "Carbon nanotubes are no longer the proud boast of 21st century materials scientists. It appears their discovery was unwittingly pre-empted by mediaeval Muslim sword-smiths whose tough Damascus blades taught the Crusaders the true meaning of cold steel when they fought over the Holy Land. Images were taken by the most powerful microscope. They show the nanotubes inside the Damascus sword aligned in chain formations. It is those nanotubes that make the sword what it is. This is nanotechnology at its best." Presently researchers including Taysir Nayfeh at Cleveland State are conducting research for studying how to add them into metal as well as polymer and glass matrices for aviation applications. Moreover importantly studies are underway to determine how to extrude the metal or polymer with the nanotube lined up. Alignment of the tube imparts additional hardness, electrical conductivity as well thermal conductivity to the composite compared to random mixing.

copolymers to particles of polymeric lattices, semiconductor, or metal oxides. Such a task will take forever if one needed to move and place them in the right slots one at a time. The time will certainly be shortened if the nanos self-assemble, finding their positions on their own. .

Self-assembly: Nature's self-assembly is therefore useful in this regard. Block copolymer can provide large area self-assembly or ordered nano pattern with the feature-size range of 15-25 nm. DNA can also be used to fabricate nanoparticle assembly. This relies on the high specificity of A-T and G-C hydrogen bonding along with molecular recognition mechanism of DNA. On the other hand, an external current may be used to induce self-assembly of molecular components such as nanoparticles into a variety of patterns as was shown by Sahraoui Chaieb in the Illinois group. This technique is basically a self assembly under open dissipative conditions, an analogous way to the assembly of conducting spheres under the influence of electric currents. In this effect, Si nanoparticles were found to aggregate, forming tree-like networks. The special interaction between gold and sulfur has also been used to create large area self assemblies. For example, alkanethiol monolayer films assemble in a close-packed structure on Au (111) lattice. These are called self-assembled monolayers (SAMs). Chaieb showed that when silicon nanoparticles form ultra thin films on a surface they may peel and roll which into a thin tube. AlDwayyan, AlSalhi, and AlHoshan of King Abdullah Institute of Nanotechnology at King Saud University embedded silicon nanoparticles in glass matrices using sol-gel methods, enabling several photonics applications.

Atomic layer deposition (ALD): ALD is a thin-film growth technique that offers the unique capability to coat complex, three-dimensional objects with precisely fitted layers. The technique is being perfected at Argonne National Laboratory. In the method, an object is exposed to a sequence of reactive gas pulses to apply a film coating over the object's

sary condition for the production of laser beams. Light-emitting Si devices could eventually result in a laser on a chip, new generation of Si chips, and extend the functionality of Si technology from microelectronics into optoelectronics and biophotonics.

Silicon nanoparticle technology has significant technological implications because of its possible integration in existing silicon electronic chip technology. It constitutes a wide platform technology with wide-ranging applications including electronics (low power nanomemory and transistors); photonics (photodetectors (in the UV)); photovoltaic and lighting technologies (Si solar cells and light emitting diodes); substance sensors (glucose and dopamine); catalyst and fuel cells; and biomedical fluorescent tags.

Unlike silicon nanoparticles, which are made of pure silicon, silica nanoparticles are basically spheres made of pure glass (SiO_2). They are produced the simultaneous hydrolysis and condensation reaction of metal compounds, which carry silicon and oxygen (alkoxide). They are of importance to various industrial applications, including catalysts, pigments or pharmaceuticals. They are also used to make electronic substrates, thin film substrates, electrical insulators, thermal insulators and humidity sensors. Silica particles, especially mono-dispersed particles are suitable candidates for application in chemo-mechanical polishing (CMP). It is therefore important to develop procedures which produce high purity silica particles of a narrow size distribution. Present commercial silica has a broad size distribution and varying levels of metal contaminants.

Nano-structured films and alloys

To mass produce devices using nanos requires handling a very large number of nanos, much more than $1012/cm^2$. The nano building blocks that are employed range from molecules such as surfactants and block

when electrochemically etched. Zain Yamani now at King Fahd University of Petroleum and Minerals (KFUPM) received his PhD from the Nayfeh?s group for pushing the emission from etched silicon to the green part of the spectrum. A magic family of silicon nanoparticles are produced in Nayfeh?s lab at Illinois from bulk silicon by a special patented electrochemically dispersion process. The family consists of highly luminescent stable particles of 1, 1.7, 2.2, 2.9 nm in diameter. Unlike bulk silicon, a spectacularly dull material, the silicon nanoparticle family is spectacularly efficient at emitting light in RGB colors, covering the blue, green, yellow and red part of the spectrum respectively when exposed to dark ultraviolet radiation. Silicon nanoparticles are akin to the carbon fullerene balls. But unlike the empty shell fullerenes, the silicon nanoparticles are filled and have hydrogen on their surface. The particles may constitute a new phase or "super molecule" that exhibits solid-like behavior as well as molecule-like behavior.

Silicon nanoparticles can also be produced by condensing silicon atoms freed from silicon bearing compound either in the gas phase or liquid phase, but the processes do not lead to the path of the above magic family. Moreover, those need to be post processed with hydrogen or oxygen to stabilize them against environmental attack. In the continued effort to lower the cost of production of nanoparticles, the Illinois group in collaboration with Laila Abuhassan of the University of Jordan, Mona Alchihabi of Allepo University and Jon Host of DOW chemicals were able to synthesize red luminescent silicon nanoparticles from lower grade silicon grain with enhanced yield over that produced from silicon wafers. The collaboration group also synthesized nanoparticles from raw silicates but at a much reduced yield.

In addition to being ultra bright, reconstituted films of the particle family exhibit the phenomenon of stimulated emission, which is a neces-

weapon explosion that takes place within the human body.

Semiconductor nanoparticles: One kind of nanomaterial actually consists of two materials: cadmium and sulfur (CdS), or cadmium and selenium (CdSe). Chemists Mongi Bawendi of the Massachusetts Institute of Technology and Paul Alivisatos developed the synthesis and chemical attachments of these nanocrystals. The resulting material is a direct bandgap material. The nanoparticles or as they are traditionally called quantum dots, produce luminescence under light excitation giving sharp lines spectra whose color depends on the size of the particle. The particle is popular as a luminescent tag or marker for biomedical applications. It has been attached to DNA, proteins and other components for single cell and single molecule imaging and tracking. However it suffers from bio-incompatibility issues as it poses threat of heavy metal poisoning (cadmium) and selenium poisoning. Moreover, it is reactive under ambient conditions and in common solvents. This necessitates the administration of a silicon oxide protective coating. The particle size achieved including the protective coating is 8 nm. This is much larger than normal pore size in live cell, making cell uptake problematic. Because cadmium is one of the heavy elements, the particle is much heavier than a typical molecular system or a cell component. CdS nanoparticles of different size are prepared through a colloidal rout. The size of the particles could be controlled either by terminating the chemical reaction at different time interval or by varying the cation/anion ratio in the reaction mixture.

Silicon and silica: Silicon material is one of the most important materials for nanotechnology applications because it is the backbone of the microelectronics industry as well as the most biocompatible material being the least toxic material, promising to be a green technology. It was Canham who first showed in 1990 that visible red photoluminescence light (PL) can come out of silicon wafer crystals at room temperature

most pencils, is made up of countless layers of graphene. Graphene oxide paper has also been developed. It is contemplated to create a revolution of its own as this lightweight material may find use in a wide variety of applications.

Titanium oxide: From the oxides, we have titanium oxide nanoparticles as being the most popular. This oxide became popular because of its ease and diversity of applications. TiO_2 nanopowder promises to be an important commercial product used primarily in a new generation of sunscreens, cosmetics, plastics and coatings which absorb most of the harmful UV radiation giving greater protection. Titanium dioxide, also known as titania, is the naturally occurring oxide of titanium, chemical formula TiO_2. For illustration we mention that titanium oxide particles may be produced by simply heating water-soluble titanium-based salt (e.g., $TiOSO_4$) in the temperature range of 100-250° C.

Metal: Metal nanoparticles including those of gold, silver, platinum, and magnetic metal such as ion are becoming popular. Heavy metals include tungsten (W) and molybdenum (Mo). We focus a little bit on tungsten because it became infamous in the recent events on the world seen because of allegation of its use in Gaza against civilian targets and other targets. It is more difficult to synthesize tungsten or molybdenum nanos because they have high-melting-temperature. Thermal decomposition is widely applied to produce W nanoparticles. Electrochemical processes are used too. Powerful short pulses of infrared laser beams are also used. When the laser beam strikes a piece of tungsten it causes enough heating to melt or / and flash evaporate, causing something like a microscopic explosion whereby chunks of highly heated micron- or nano-scale particles come off in all direction. Under this kind of intense fast heating, atoms may flash evaporate; some re-condense to even smaller particles. This explosion is not very different in concept from what happens in the dime

We can miniaturize and produce nano particles from basically any solid material available to us including ceramics, polymers, semiconductors, metal (conducting, magnetic, and superconducting) and its oxides, etc. Here we will describe briefly some popular cases for illustration, such as carbon, silicon, and titanium.

Carbon: There are various forms that carbon exists in. Among those we have nanoparticles, nanotubes, diamond and graphite. Carbon fullerene balls, such as C60 are empty closed shells of ~ 0.7 nm diameter. Carbon nanotubes are empty cylinders. The electrical properties of nanotubes span from metallic, semi metallic to semiconducting depending on their atomic structures. Mechanically, nanotubes have high Young?s modulus and tensile strength (~100 times higher than steel). Scientists use an arc-evaporation procedure to make the nano tube. They pass a high current between two graphite electrodes in an atmosphere of helium. This causes the graphite to vaporize; some of it condenses on the cathode to form the carbon nanotubes.

Carbon nanotubes (CNT) offer a variety of quite diverse application, constituting as such a platform technology. For instance it can be used in construction of transistors & electronics; biosensor; display; and in hardening and improving of composites. However, it has several shortcoming, such as low production yield; difficulty in isolating them from each other as they tend to entangle, and multi-walling where often they come out with multiwall configuration. Most importantly some believe they may pose health hazard because they may not flush after entering the body because they are needle-like in shape.

Graphene is a one-atom-thick sheet of carbon. It eluded scientists for years but was finally made in the laboratory in 2004 at Rensselaer Polytechnic Institute. Graphene is contemplated as a possible heir to copper and silicon in nano electronics. Graphite, the common material used in

Two main approaches are used in nanotechnology: one is a "bottom-up" approach where materials and devices are built from molecular components which assemble themselves chemically using principles of molecular recognition; the other being a "top-down" approach where nano-objects are constructed from larger entities without atomic-level control. In Top-Down-Top, we have the following steps:

■ Divide a large piece of a material to smaller and smaller

■ Stop before you get to an atom, say 30 to 1000 atoms (in size to 1-3 nano meter or billionth of a meter)

■ The tiny parts begin to have properties that are new/novel and are not found in the larger piece (chemical, optical, magnetic, electronic, mechanical, etc.)

■ Rap them if necessary with protective coating to preserve or stabilize them

■ Use "identical" tiny parts as building blocks. Build formations as large as the original parent piece

In Bottom-up-up, we have the following steps:

■ Start with atoms of a given material

■ Glue a number of them together as large as 30 to 1000

■ Rap them with protective coating if necessary

■ Use those as building blocks.

As to the techniques normally used to produce miniaturized nano material one can choose from among a host of physical as well as chemical techniques, depending on the material, size, and volume of nano material needed. These include ball milling, laser ablation, ion sputtering, combustion flame, microwave-induced plasma, and chemical and electrochemical reactions.

Popular examples of nanos

cluding colloidal science, chemistry, applied physics, materials science, and even mechanical and electrical engineering.

A bit of history: The first attempt at miniaturization

Flint stone is a hard, sedimentary cryptocrystalline silicate form of the mineral quartz (SiO_2). It is usually dark-grey, blue, black, or deep brown in color, and often has a glassy appearance. The color is due to the presence of impurity. The material is also characterized as composite flint.

Flint fractures into very sharp points. The first attempt to use this property to produce small objects took place in Palestine 20,000 years ago. By knapping flint, they produced objects usually about a centimeter long or less. These were called microliths. Because of this property, it was used by early man for making sharp stone tools, probably used as barbs on arrows, spears and other composite tools.

Microliths were either produced from small blades (microblades) or by snapping normal big blades in a controlled manner to produce geometric microliths. They can be formed as various kinds of triangles, lunate shaped, trapezes, etc. More precisely, they are typically one centimeter long and half a centimeter wide when finished. These inventions may be termed primitive but in actuality they are extraordinarily beautiful tools, many with edges that are sharper than our finest surgical steel blades. This process constitutes the first attempt by man at miniaturization of matter in a controlled manner. The term micro which we now use is derived from microlith. The term lithography in nano lithography is also derived from this word.

How to miniaturize / down scale to the nano

size to a few tens or hundreds of particles in one, two, or three dimensions. For example, Si will not emit light efficiently as a bulk crystal because of its indirect band gap but will if it is reduced to a crystallite of only a few nanometers. Many novel magnetic properties, such as Giant magneto resistance [GMR] and magnetic tunnel junctions [MTJ] are only obtainable on the nano-scale. Many nanomaterials provide new devices either by enhancing already existing technology, such as enhancing solar cells or by enabling new devices based only on the nanomaterial alone (stand-alone) such as biomedical markers.

To get a feel of what is meant by novel material and novel applications we enumerate a few of materials and functions that are made possible with nanotechnology: fiber stronger than spider web; metal 100??s stronger than steel, 1/6 weight; powders that are five times as light as plastic but provide the same radiation protection as metal; plastics that conduct electricity; coatings that are nearly frictionless? (Shipping Industry); functional materials that change color and transparency on demand; self repairing, self cleaning, and never need repainting material; carriers (drug delivery); and catalysts respond more quickly and to more agents.

The third impetus is the desire to keep making the transistor and the memory cell smaller and smaller towards the limit of size. The present technology is dealing with a 35 nm total size of transistors, with internal components such as source and drain being a lot smaller. Indeed transistor sizes are approaching inherent physical limits. The term "nanofabrication" is usually interpreted as a small-scale approach to building devices. A variant to this is what we call molecular electronics. In molecular electronics, chemistry is enlisted to assemble circuit components made of common molecules such as aromatic rings to replace metal wires and bulk silicon or other semiconductor transistors.

For research teams to accomplish these goals, it is clear that they must be highly interdisciplinary and should cut across many disciplines, in-

In a 1959 speech at the California Institute of Technology by Nobel Laureate physicist Dr. Richard P. Feynman, "There's Plenty of Room at the Bottom," he declared in his discussion of the possibilities of molecular-scale engineering. To spur work in that direction, he offered $1,000 prizes from his personal funds to the first person to construct a working electric motor 1/64 inch or less on a side, and to the first person to produce written text at 1/25,000 scale (the size required to print the entire Encyclopedia Britannica on the head of a pin).

The motor prize was claimed in 1960 by an engineer who found a way to construct a very small motor using conventional mechanical techniques. Dr. Feynman had unfortunately set the size limits slightly too large to require breakthrough technology. He paid anyway. The printing challenge took longer; but in 1985 a Stanford University graduate student named Thomas Newman reproduced the first page of Charles Dickens' novel, *A Tale of Two Cities*, on a page measuring only 1/160 millimeter on a side (20 times smaller than the human eye can see), using electron beam lithography. Dr. Feynman paid that prize enthusiastically, since it This episode has been a defining moment in the history of miniaturization and nanotechnology (molecular-scale technology). Feynman call for miniaturization was heeded in a record time. Feynman assumed the process would be incremental, but miniaturization surprised all, propelling its way into the nanoscale. As we understand it today, nanotechnology is control of matter on a scale smaller than a tenth of 1 micrometer, as well as the fabrication of devices on this same length scale. At the core of this technology are the three major interests of development of new material, realization of nano device concepts, and down scaling existing devices to the limit of size.

New material with novel properties can be discovered or imparted not only by altering material composition but also by reducing the material

Technology of the 21st Century

Munir H. Nayfeh
Physics department
University of Illinois at Urbana-Champaign
Urbana, Illinois 61801
e-mail: m-nayfeh@illinois.edu
Tel: 217 333 3774

Nanotechnology coined the technology of this century, attracted billions upon billions of research funding dollars, and thousands upon thousands of scientists and engineers. It is simply exciting, novel and ventures into areas of science and technology beyond nature where we never been. Despite the fact that it has not yet delivered, it still captures the imagination of the young and the old, the scientist and the layman, and affords us to dream and be futuristic in hope of solving the major problems facing the human race, such as acute disease, the energy, lighting and food crunch.

In this article, I will explain the major premises of the technology and the general methodology of how to create the nanos, the building block of the technology. I will then present some popular examples of nanos, and some applications, the mundane as well as the advanced and futuristic. I will then tackle the issues of commercialization and consumer concern of safety and military exploitation. I will finally ask the eventual question of whether this technology will ever prove to be the platform technology of the century.

Introduction

But the 20th century is destined to be known as the launch pad of nanotechnology. In the mid 1990, scientist began to realize, as one could see from some of the examples presented in the preceding two sections, that new high performance material with novel properties can be discovered or imparted not only by altering material composition but also by reducing the material size to a few tens or hundreds of particles in one, two, or three dimensions. For example, it was discovered that Si will not emit light efficiently as a bulk crystal because of its indirect band gap but will if it is reduced to a crystallite of only a few nanometers. Many nanomaterials provide new devices either by enhancing already existing technology, such as enhancing solar cells or by enabling new devices based only on the nanomaterial alone (stand-alone) such as biomedical markers.

It was 1999 when President Clinton launched the US national nanotechnology initiative and allocated millions of dollars to probe this area for potential material and device innovation beyond nature. Other countries followed suit and since then we have been witnessing an explosion in research and development in all aspects of this area. As we understand it today, nanotechnology is control of matter on a scale smaller than a tenth of 1 micrometer, as well as the fabrication of devices on this same length scale. At the core of this technology are the three major interests of development of new material, realization of nano device concepts, and down scaling existing devices to the limit of size.

Due to its importance and to the large volume of material, I dedicate a separate chapter to this area.

Nanotechnology: The Platform

will have a capacitance in the range of tens of millifarads. The same size electric double-layer capacitor would have a capacitance of several farads, an improvement of about two or three orders of magnitude in capacitance, but usually at a lower working voltage.

Solid-state lighting: With the advent of commercial LEDs in the 1960s, the door for the most radical and exciting form of lighting technology had opened. Unlike conventional lighting, LEDs utilize a chip to produce light; it consumes less electricity and has largely avoided the parasitic by-products of standard bulbs: heat. LEDs come in red in color, with yellow and orange variants and in blue following soon thereafter. It was now possible to create white light by combining the light of separate LEDs (red, green, and blue). The most recent technology uses a single blue/UV LED and phosphors coating/films as a white convertor to produce white light, as phosphorous is able to emit a broader wavelength spectrum light. But phosphors conversion, as may have been observed during the most recent use of white phosphorous as a weapon for lighting over in Gaza City by the Israeli Army, does quite cover the ordinary white sunlight spectrum thus proposals for using additional ingredients to complement phosphorous, such as semiconductor nano particles have been put forward.

What's next in Technology?

The twentieth century was a time of extraordinary change as new technologies and new inventions emerged at a bewildering rate. Our world was transformed beyond recognition, and so were our lives and our aspirations. The iconic themes of the century include flight, space travel, television, mechanized war, medicine, video games, electronic music, skyscrapers, electronic espionage and much more. And more it is with technologies, such as the car and the internet, which became unstoppable.

botanical antioxidants, and topical anti-inflammatories. The largest growth area in cosmetic facial treatment is related to aging. The aging of the skin is mainly due to solar exposure and loss of hormones for example growth hormone, testosterone and estrogen. These two factors lead to excessive oxidation of collagen and elastin fibres resulting in ?crossing?. In newer skin, these fibres are usually found in thick bundles spread evenly under the skin surface. This 'crossing' leads to dimples and sagging of the skin. Ultraviolet (UV) radiation accounts, however for 90% of the symptoms of premature skin aging. Aging individuals start to see fine lines and wrinkles, decreased skin thickness, uneven skin tone and texture, declining collagen and elastin production and barrier dysfunction - even dehydration. Dehydration can manifest itself as dry, brittle skin, which results from the loss of a lipid barrier that controls the amount of moisture lost to the atmosphere. Ultraviolet light not only damages the DNA in the cells of the skin, but also inhibits the repair mechanisms that repair damaged skin cells. The breakdown or depletion of DNA, collagen, Elastin, hyaluronic acid and other supporting molecules in the dermis all lead to the clinical changes of facial aging. Advanced anti-aging skin care products include the following insubstances: Vitamins A, C and E, Alpha Hydroxy Acids (AHAs), Glycolic Acid, N-6 furfuryladenine (kinetin), Copper Peptides, Pal-KTTKS, Green Tea Extract, and TNS. For instance, copper peptides are the latest scientific breakthrough in skin rejuvenation. Copper has been found to naturally firm the skin, enhance elasticity, and reduce fine lines and wrinkles.

Energy storage and supercapacitors: Supercapacitors represent a new breed of storage technology. Supercapacitors store charge by means of an ultrathin electric double-layer. They are able to store greater amounts of energy than conventional capacitors, and are able to deliver more power than batteries. For instance, a typical D-cell sized electrolytic capacitor

Cloning: Cloning has been around for a few years and has achieved public recognition only very recently. Animal cloning is a means of asexual reproduction where a single cell in made to grow into an animal genetically identical to the animal that donated the cell. Human cloning is basically the same, yet there are more complications associated. There have been some exciting successes. The first successful clone was Dolly the sheep. Though, it took 277 attempts before she was born and healthy. Scientists have also been able to create cats, cattle, pigs, goats, mice and other farm animals. But the clones had significant abnormalities and brain damage. Respirators and feeding machines had been hooked up to these animals, some right after birth. Just recently a colt was created from a mare donor. This was a great advance in the science. Humans, however, is a different matter as they pose a great risk in cloning because of their molecular structure. So far, animals have been the "test group" in the field of genetic engineering.

Food processing and packaging technology: Global food processing and packaging business has reached to multi trillion dollars. Smart packaging techniques, the role of nanotechnology in packaging, various types of packaging machineries including the application of robotics, package printing techniques, conventional automation and control tools are among the most advanced developments.

Advanced skincare products: Modern cosmetic chemists and engineers focus on the latest technologies and issues that are pertinent to the development of novel skin care products. Advances in formulation and development include raw materials and active ingredients, compound testing, and clinical assessment. The goal is to create effective skin care products for men and women in a diverse range of ethnic populations, including cleansers, moisturizers, toners and astringents, sunscreens, hydroxy acids, retinoids, topical vitamins, nutritional antioxidants, topical

ingredients into the circulatory system via skin. The patches have been proved effective because of its large advantages over other controlled drug delivery systems.

Single cell and single molecule technology: Recent advances in preventive medicine technology, which targets early detection and treatment of disease required ultrasensitive measurements of cell or DNA molecule population. This triggered recent advances in fluorescent proteins, small molecule fluorophores, and semiconductor luminescent labels in the nanoscale regime.

Synthetic bone grafts: Nearly half-million of spinal fusion procedures and other bone grafts are annually performed in the United States. In these procedures allografts and autografts are used as the preferred options. Developments in orthopedic biomaterials research are steadily emerging to challenge these materials and procedures Among recent product introductions, are alternatives to these longstanding bone grafting techniques, which include a É- tricalcium phosphate composite, and a hydroxyapatite compound derived from marine coral.

Control of fertility: The major thrust of recent research in fertility control technology has been in improvement and adaptation of existing means of fertility control. Nonclinical methods have seen improvements in packaging, the use of lower dosages for steroid contraceptives, the use of colored and lubricated condoms, and better spermicide-germicide foam preparations. Clinical methods, which include the IUD, have seen the development of the pleated plastic membrane. The clip and ring, that allows female sterilization via laparoscopy on an outpatient basis has been developed, which advanced female sterilization procedures. Simplified nonelectrical means of uterine aspiration and menstral regulation have been developed, which allowed for greater availability of hindsight contraception.

merase chain reaction to amplify a small sequence of the DNA a million-fold. This provides enough copies of the small DNA sequence for researchers to perform the third step, which is sequencing and analyzing the small DNA sequence.

DNA sequencing refers to methods for determining the order of the nucleotide bases, adenine, guanine, cytosine, and thymine, in a molecule of DNA. The first DNA sequences were obtained in the early 1970s based on 2-dimensional chromatography. In 1975, the first complete DNA genome to be sequenced is that of bacteriophage. In 1977, Allan Maxam and Walter Gilbert published the method of DNA sequencing by chemical degradation. Frederick Sanger, independently, published the method of DNA sequencing by enzymatic synthesis. Dye-based sequencing methods with automated analysis were then developed in the mid 1990?s, which made sequencing easier and orders of magnitude faster. The rapid speed of sequencing attained with modern DNA sequencing technology has been instrumental in generating the complete DNA sequences of the human genome as well as many animal, plant, and microbial genomes.

Transdermal patch drug delivery: The number of medications and the ways in which they can be administered have expanded dramatically over the years. One such advance has been the development of transdermal patch delivery systems. Transdermal drug technology specialists are continuing to search for new methods that can effectively and painlessly deliver larger molecules in therapeutic quantities to overcome the difficulties associated with the oral route. Transdermal Drug Delivery System is the system in which the delivery of the active ingredients of the drug occurs by the means of skin. Skin is an effective medium from which absorption of the drug takes place and enters the circulatory system. Various types of transdermal patches are used to incorporate the active

heat-guided therapy modalities of drug targeting and gene expression, make use of the controlled electromagnetic non-ablative heating in the patient?s trunk. The combination of the HT and the magnetic resonance (MR) systems for temperature monitoring is enabled.

Recent advances in imaging gene expression utilizing radionuclide technologies in living subjects have enabled advances in breast imaging technology. Researchers are investigating a variety of imaging technologies as tools for studying gene expression in living subjects. For example, the radiolabeled isotope procedure, which is known as single photon emission computed tomography (SPECT) and positron emission tomography (PET) are two of the most important technologies. Radionuclide approaches are characterized by a relatively high sensitivity, a full quantitative tomographic capability, and the ability to extend small animal imaging assays directly into human applications. Various radiolabeled probes (tracers) can be synthesized to target specific molecules present in breast cancer cells. We mention a number of those for example: antibodies or ligands to target cell surface receptors, substrates for intracellular enzymes, antisense oligodeoxynucleotide probes for targeting mRNA, probes for targeting intracellular receptors, and probes for genes transferred into the cell. Because of safety concern as a result of the radioactivity, scientist began to turn to alternative labels such as ultrasmall semiconductor luminescent labels with sizes in the nanoscale.

Genomics: DNA technology has progressed immensely. DNA Sequencing is at the center of the Human Genome Project, which promises to revolutionize the Biomedical Sciences and the treatment of human diseases. There is a need to examine smaller and smaller samples of biologically sensitive material. For instance, to compare DNA from different organisms, scientists generally follow a three-step procedure. First, they isolate DNA to get a purified sample of DNA. Second, they use the poly-

Vacuum technology is pivotal to the requirements of many advanced technologies and applications in fields as diverse as the semiconductor, thin film, space, surface, physics, and industrial fields. Advances in vacuum science require more complete understanding of gas-solid phase interactions at the atomic and macroscopic scale. Among the advances that have emerged or matured since 1990 we have developments in vacuum hardware, instrumentation, and computer-aided design and engineering. Dry pumps, water pumps, turbo drag pumps, enhanced and miniaturized total and partial pressure gauges, in situ particle monitors, and leak detectors are examples of instrumentation. Also matured is the application of workstation and PC-based 3-D solid modeling software to the mechanical design of systems as well as software used to model gas flow and predict the performance of vacuum systems.

Tire technology: There have been advances in tire materials, tire constructions and tire technologies, which have led to new products that are more efficient, lower cost and more uniform production. New generation of nano-filler; surface modified or plasma treated filler; reinforcing materials like aramid have emerged. Aramid fibers are a class of heat-resistant and strong synthetic fibers. They are used in aerospace and military applications, for ballistic rated body armor fabric, and as an asbestos substitute.

Medical electronics has progressed from computerized axial tomography, or the use of CAT or CT scanners (see X Ray), to systems that can discriminate more and more of the organs of the human body. Devices that can view blood vessels and the respiratory system have been developed as well. Ultrahigh definition television also promises to substitute for many photographic processes, because it eliminates the need for silver.

The deep-body hyperthermia (HT) cancer therapy, as well as the novel

er-hackers are on the rise. Those people illegally gain access to computer systems and often violate privacy and tamper with or destroy records. They inject in computer networks programs called viruses or worms that can replicate and spread from computer to computer, erasing information or causing computer malfunctions. Other individuals have used computers to electronically embezzle funds and alter credit histories. As a result, regulation of material on the Internet and the World Wide Web has become an ethical issue to be solved. Individuals, companies, and governments are all working to solve these problems. Developing better computer security and enacting regulatory legislation, are among the means being focused on.

Computer vision: Computer vision is a branch of artificial intelligence. It aims at providing computers with the functions typical of human vision. For example, computer vision has enabled important applications in fields as diverse as industrial automation, robotics, biomedicine, and satellite observation of Earth. In the field of industrial automation alone, its applications include guidance for robots to correctly pick up and place manufactured parts, nondestructive quality and integrity inspection, and on-line measurements.

GPS/GIS field data collection pose severe problems for cartographers, surveyors, engineers and researchers because the tools that have been available for mapping applications have been bulky in size and weight, expensive, and difficult to learn. Recently, we saw major advances in GPS technology (receivers), data collection hardware, and field data collection software. The autonomous GPS accuracy improved, as well as the data collectors became smaller, lighter, and less expensive. The software has become cheaper and easier to learn, while lower priced laser range finders have become available. All of these advances have made the GPS/GIS data collection tasks easier, more economical and faster to complete.

communications, information handling, and computing. Integrated circuits reduce the size of devices and lower manufacturing and system costs, while at the same time providing high speed and increased reliability. These in turn, along with advances in the physical and life sciences, enabled all sorts of advanced technologies in health and food, energy and lighting, water and environment, and material. Here, I will give some representative examples for illustration.

Digital gadgets: Digital watches, hand-held computers, and electronic games are systems based on microprocessors. Other developments include the digitalization of audio signals, where the frequency and amplitude of an audio signal are coded digitally. Digitally recorded music shows fidelity that is not possible using direct-recording methods. Digital playback devices of this nature have already entered the home market. Digital storage could also form the basis of home video systems and may significantly alter library storage systems because much more information can be stored on a disk for replay on a television screen than can be contained in a book.

Computer-human interface: It is contemplated that computers will become more advanced as well as become easier to use. Operation of a computer will benefit from reliable speech recognition, making it easier. The technology of interacting with a computer using all of the human senses, coined virtual reality, will also contribute to better human and computer interfaces. Standards for virtual-reality program languages, called Virtual Reality Modeling language (VRML), currently are being developed for the World Wide Web.

Computer security: Computers are continuing to gain more and more power as well as versatility. It is not hard to realize that computers indeed simplify day-to-day life. Unfortunately, as computer use becomes more widespread, so do the opportunities for misuse. The numbers of comput-

and threadlike optical fibers of communications networks, the magnetic particles dispersed on discs and other surfaces to record digital data. Making transistors, for example, begins with the growing of flawless crystals of silicon, since the electrical properties of the semiconductor are sensitive to minuscule amounts of impurities (in some cases, just one atom in a million or less) and to tiny imperfections in their crystalline structure. Similarly, optical fibers are composed of silica glass so pure that if the Pacific Ocean were made of the same material, an observer on the surface would have no difficulty seeing details on the bottom miles below. Such stuff is transforming our lives as dramatically as steel once did, and engineering at the molecular level of matter promises much more of the same.

Recent Advances in technology

Semiconductor pioneer Gordon Moore predicted in 1965 that the number of transistors contained on a computer chip would double every year. This is now known as Moore's Law, and it has proven to be somewhat accurate. The number of transistors and the computational speed of microprocessors currently double approximately every 18 months. Transistors continue to shrink in size towards the nano-scale, and are becoming faster, cheaper, and more versatile. Today's research to increase the speed and capacity of computers concentrates mainly on the improvement of integrated circuit technology and the development of even faster switching components. Very-large-scale integrated (VLSI) circuits that contain several hundred thousand components on a single chip have been developed. Very-high-speed computers are being developed in which semiconductors may be replaced by superconducting circuits using Josephson junctions and operating at temperatures near absolute zero.

The development of integrated circuits has revolutionized the fields of

forced by particles, fibers, or plates of another type. Among the first engineered composites was fiberglass, developed in the 1930s. Made by embedding glass fibers in a polymer matrix, it found use in building panels, bathtubs, boat hulls, and other marine products. Since then, many metals, polymers, and ceramics have been exploited as both matrix and reinforcement. In the 1960s, for instance, the U.S. Air Force began seeking a material that would be superior to aluminum for some aircraft parts. Boron had the desired qualities of lightness and strength, but it wasn't easily formed. The solution was to turn it into a fiber that was run through strips of epoxy tape; when laid in a mold and subjected to heat and pressure, the strips yielded strong, lightweight solids?a tail section for the F-14 fighter jet, for one. While an elegant solution, boron fibers were too expensive to find wide use, highlighting the critical interplay between cost and performance that drives materials applications.

Many composites are strengthened by graphite fibers. They may be embedded in a matrix of graphite to produce a highly heat-resistant material – the lining for aircraft brakes, for example – or the matrix can be an epoxy, as with composite shafts for golf clubs or frames for tennis rackets. Other sorts of composites abound in the sports world. Skis can be reinforced with Kevlar fibers; the handlebars of some lightweight racing bikes are made of aluminum reinforced with aluminum oxide particles. Ceramic-matrix composites find use in a variety of hostile environments, ranging from outer space to the innards of an automobile engine.

Doped material –composition control: Many recent triumphs in material innovation is rooted in exquisite precision and control. This is especially the case in the amazing realm of electronics, built on combinations of metals, semiconductors, and oxides in miniaturized geometries?the fingernail-sized microchips of computers or CD players, the tiny lasers

tracks of sprawling railway networks, the ribs and plates of steamship hulls, and a multitude of other applications extending from food cans to road signs. High performance steel still stands supreme in both versatility and volume of production. Hundreds of alloys are made by adding chromium, nickel, manganese, molybdenum, vanadium, or other metals to the basic steel recipe of iron plus a small but critical amount of carbon. Some of these alloys are superstrong or ultrahard; some are almost impervious to corrosion; some can withstand constant flexing; some possess certain desired electrical or magnetic properties. Highly varied microstructures can be produced by processing the metal in various ways.

In 1906, an alloy of aluminum with a small amount of copper was heated it to a high temperature, then quickly cooled it. At first the aluminum was even softer than before, but within a few days it became remarkably strong, a change caused by the formation of minute copper-rich particles in the alloy, called precipitation hardening. This lightweight material became invaluable in aviation and other transportation applications.

Titanium was first isolated in 1910 but not produced in significant quantities until the 1950s. It is not only light and resistant to corrosion but also can endure intense heat, a requirement for the skin of planes traveling at several times the speed of sound. But even titanium can't withstand conditions inside the turbine of a jet engine, where temperatures may be well above 2,000° F. Turbine blades are instead made of nickel- and cobalt-based materials known as superalloys, which remain strong in fierce heat while spinning at tremendous speed. To ensure they have the maximum possible resistance to high-temperature deformation, the most advanced of these blades are grown from molten metal as single crystals in ceramic molds.

Composites: Big performance gains are already well in hand for the class of materials called composites in which one type of material is rein-

analysis exploded with new forms of microscopes and telescopes. In the century we saw us move on from the optical telescope and the microscope to the advanced near field scanning optical microscope, x-ray, magnetic resonance, ultrasound, electron microscopy, scanning tunneling microscopy, and atomic force microscopy. The latter ones are so powerful capable of observing a single atom

High-performance material technologies

An explosion in materials research marked the 20th century. This has culminated in countless new and useful materials not ordinarily found in nature. What better witness to this revolution in material science and engineering than the automobile, aircraft, sporting goods, skyscrapers, clothing (both everyday and super-protective), computers and a host of electronic devices.

Non-conventional materials: We mention here some of the most important ones: bakelite, precipitation hardening, Pyrex, stainless steel (rediscovered), synthetic rubber, glass fibers, polyethylene, nylon; clear strong plastic, Teflon, nickel-based super alloys, ceramic magnets, barium titanate, Tupperware, silicones, glass into fine-grained ceramics, Dacron, high-density polyethylene; synthetic zeolites, synthetic diamonds, high molecular weight polypropylene, “float” glass, large single crystals of silicon, nickel-titanium (Ni-Ti) alloy shape memory, acrylic paints, carbon fiber, amorphous metal alloys, electrically conducting organic polymers ,

Some of those have become household names for use around the kitchen, such as Pyrex, Teflon, Tupperware, stainless steel, and silicone.

Metal alloys: Man has figured out how to make steel in large quantities, and industry titans are now producing millions of tons of it each year, to be used for the structural framing of bridges and skyscrapers, the

may someday serve as the trigger for controlled fusion, the long-sought thermonuclear process.

Food and health: Water Supply and Distribution, Agricultural Mechanization, Air Conditioning and Refrigeration, Household Appliances, Health Technologies, Imaging

Techniques for chlorination of water supplies were developed in the late 19th and early 20th centuries. In 1908, Jersey City Water Works became the first system in the United States to practice large-scale chlorination on a permanent basis. The condition of water supply systems was tremendously upgraded and the direct threat to public health were minimized or eliminated. Chlorination is used for the purpose of disinfection. Disinfection kills or inactivates harmful microorganisms which can cause illnesses such as typhoid, cholera, hepatitis and giardiasis. Sometimes, water systems use chlorination for taste and odor control, iron and manganese removal, and to stop nuisance growths in wells, water pipes, storage facilities and conduits.

The mechanization and automation of agriculture are direct pathways to increase the production efficiency and product quality, by reducing cost and labor demands while improving working environment. Although mechanization and automation of agriculture, including the irrigation system may have started as early as the 19th century, work in this is still in progress. Food preservation and the refrigerator at home, during transport or in national reservations have become God given.

The century witnessed a wide assortment of medical advances in diagnosis, pharmaceuticals, medical devices, and other forms of health care. In 1900, the average life expectancy was 47 years. By 2000, it was nearing 77 years. That remarkable 30-year increase was the result of a number of factors, including these medical advances as well as the creation of a safe water supply. Imaging technologies for medical and other material

distance message traffic, light from laser beams traveling in glass fibers was used. The fibers have to be of extremely high-quality and to be so thin only a few microns in diameter. The laser used is an infrared continuous beam semiconductor laser functioning at room temperature and operating for hundreds of thousands of hours without failure. Lasers have found other applications in almost any industry. In manufacturing, infrared carbon dioxide industrial lasers cut and heat-treat metal, trim computer chips, drill tiny holes in tough ceramics, silently slice through textiles, and pierce the openings in baby bottle nipples. In the construction industry, the narrow, straight beams of lasers guide is used to align things in countless applications, including the laying of pipelines, drilling of tunnels, grading of land, and alignment of buildings. In medicine, the laser can deposit intense, clean, well defined heat to selected spots which enable several surgical applications. For instance, detached retinas are spot-welded back in place with an argon laser's green light, which passes harmlessly through the central part of the eye but is absorbed by the blood-rich tissue at the back. Medical lasers are also used to make surgical incisions while simultaneously cauterizing blood vessels to minimize bleeding and they allow doctors to perform exquisitely precise surgery on the brain and inner ear.

Lasers also invaded many everyday devices. For example, in CD or DVD players we read the digital contents of a rapidly spinning disc by bouncing laser light off minuscule irregularities stamped onto the disc's surface. The Barcode scanners in supermarkets are another example. The machine plays a laser beam over a printed pattern of lines and spaces to extract price information and keep track of inventory. Pulsed lasers can have pulses as short as a few femto seconds can visually freeze the lightning-fast movements of molecules in a chemical reaction as was demonstrate by Nobel Laureate Ahmed Zewail. And super powerful laser pulses

the University of Illinois. The National Science Foundation, the state of Illinois, the University of Illinois, industrial partners, and other federal agencies support NCSA. Presently, NCSA operates some of the world's most powerful supercomputers and develops the software needed to efficiently use these systems. The center is an international leader in deploying robust high-performance computing resources and in working with research communities to develop new computing and software technologies. NCSA and its partners have been selected by the National Science Foundation to build and deploy a sustained-petascale compute system, dubbed Blue Waters, which will be available to the national research community in 2011.

The area of communication had a share of development in this century as well. The radio was demonstrated in New York in 1899 as a new mode of communication based on electromagnetic (radio) waves, with information traveling at the speed of light. The Radar (Radio Detection and Ranging for locating aircraft was patented in Britain in 1935. The telephone was invented by Alexander Graham Bell in 1877. Soon after, cables of telephone wires reached private dwellings, country houses, shops, manufactories, etc.

The predecessor to the Internet ARPANET, which is a computer-linking system, was showcased at a conference held at the Washington Hilton in 1972. This network had been developed under military auspices to help computer scientists share information and enable them to harness the processing power of distant machines. The showcase jump-started a revolution and turned into the non-military computer-linking system the Internet.

The laser and fiber optics is the mother of inventions. It is a breakthrough in telecommunications and a variety of industries. Instead of using electrons traveling along copper or coaxial cables to transmit long-

In mid-1948, the transistor the backbone of modern electronics was introduced to the public. It was demonstrated for the first time at Bell Telephone Laboratories. The transistor, which replaced the bulky vacuum tube, has revolutionized our world today by giving us the capability of scaling down the size of electric instruments. The advent of the transistor created a multi-billion dollar industry that produced such popular devices as pocket radios, hand held radios, calculators, computers, television receivers, and electronic games.

The World's First Minicomputer Kit, the Altair 8800, came to existence in the early 1970s. It was destined to rival commercial models. It was depicted on the cover of the January 1975 issue of *Popular Electronics* magazine at a price of $397 for the parts. It was primitive such that programming had to be done by adjusting toggle switches. The memory held a meager 256 bytes of data, and output took the form of patterns of flashing lights. Despite its primitiveness, it indeed started a revolution.

Modern computers date to the period 1940-1945. Early electronic computers were the size of a large room. Today?s computer occupies a fraction of the space, while being millions to billions of times faster. Personal computers are what we have around us. Embedded computers are small, simple devices that may be found in machines ranging from fighter aircraft to industrial robots, digital cameras, and children's toys. Supercomputers were introduced in the 1960s. They were designed primarily by Seymour Cray at Control Data Corporation (CDC). A supercomputer is a computer that is at the frontline of current speed of calculation. The IBM Roadrunner, located at Los Alamos National Laboratory, is currently the fastest supercomputer in the world.

In January 1986, the US National Science Foundation launched a Supercomputer Centers Program and funded five centers, one of them called the National Center for Supercomputing Applications (NCSA) at

22%. Present research on PV focuses on developing more efficient configurations and on new materials and novel ideas from nanotechnology to improve the efficiency, lower the cost and extend the lifetime.

The need for lighting resulted in the development of several technologies. The tungsten bulb was made possible with the invention of electricity. For the past 150 years, lighting technology was mainly limited to incandescence and fluorescence. While derivative technologies such as high-intensity discharge lamps (HID) have emerged, none have achieved energy efficiencies exceeding 25%, with incandescent lighting achieving an efficiency of less than 2%. With the advent of commercial LEDs in the 1960s, however, now attention is turning to solid state LED lighting. Unlike conventional lighting, LEDs consume less electricity and have largely avoided the parasitic by-products of its predecessors: heat.

Transportation: Automobile, Airplane, Spacecraft, Highways

The automobile was invented, making the horse carriage obsolete. In a short time, motorized carriages and trucks spread everywhere. The airplane arrived next. The first flight lasted 12 seconds and carried one man 120 feet. Today, nonstop commercial airline flights lasting as long as 15 hours carry hundreds of passengers halfway around the world. In 1957, first-ever spacecraft was launched by the Soviet Union. As the need for transportation of goods and food as well as people grew, networks of motor highways sprung over the whole world.

Service technologies

Service technologies including information technologies, health and food services will be covered.

Information technology: Electronics, Computers and supercomputers, Radar, Radio and Television, Telephone, Internet, Laser and Fiber Optics

proved resources and infrastructure, such as electrification, energy and lighting, and transportation. In addition, I will summarize strides achieved in the service technologies, such as communication information, food and health. I will then briefly present the century?s innovative new materials, which enabled many of advanced technologies. Finally, I will look into the future by going in depth into nanotechnology, which came to being in the last decade of the century and has been coined to be the platform technology of the present technology.

Resource technologies

In this section, we will focus on resource technologies such as electricity, energy, lighting, and transportation.

Electrification and electricity:

The electricity was invented. And everything became wide open for advancement and innovation. At the beginning of the 20th century electric power became the muscle of the modern world. Today it keeps factories running as well as the telecommunications industry, the appliances in homes, and the lifesaving equipment in our hospitals. In myriad other ways the ready access to electricity helps maintain the well-being of billions of people around the globe

Energy and lighting: Petroleum and Petrochemical Technologies, Nuclear Technologies, photovoltaic

Oil became the undisputed source for the 20th century. Refined petroleum ran the automobiles, aircraft, farm equipment, and industrial machines. In addition to oil, the century witnessed the emergence of nuclear energy, and nuclear power stations. Solar photovoltaic (PV) technology harvests sun light into electric power. Commercial cells have efficiencies of 12% or more. The efficiency however can theoretically be as high as

The Harvest of the 20th Century Technology

Munir H. Nayfeh
Physics department
University of Illinois at Urbana-Champaign
Urbana, Illinois 61801
e-mail: m-nayfeh@illinois.edu
Tel: 217 333 3774

Abstract

This 20th century is characterized by the fact that science and technology have become intimately coupled and inter-wind. In some cases, it may even be hard to distinguish between the two especially when we consider the area of nano- science and technology, which came to being towards the end of this period. As a result, the 20th century saw hugely important technological innovations in the fields of food and health, transportation, information technology and computing, energy, advanced material and nanotechnology to name but a few. The scientific revolution provided the environment for the industrial revolution, but it was the industrial revolution that elevated society's expectations, thus creating a demand for technologies that improves the quality of life as well as for ?luxury? technologies. In 1900, the average life expectancy was 47 years. By 2000 it was nearing 77 years. The 20th century may be best called the century of quality of life. In this article, I will summarize the major technologies that came to being in the century including technologies that im-



الفصل الخامس

العلوم الكيميائيّة

أ. د. نزار رباح الريّس



العلوم الكيميائيّة

الأستاذ الدّكتور نزار رباح الريّس

مقدّمة

حقّق العلماء في القرن العشرين فتوحات مهمّة وإنجازات كبيرة في مجال الكيمياء، قادت إلى فَهْم أعمق للتفاعل الكيميائي، وإلى اصطناع مركّبات جديدة فتحت الباب واسعا أمام صناعات كبرى، تساهم في حلّ كثير من مشكلات الإنسان، وتوفّر له الغذاء والكساء والدواء. وكانت نهاية القرن سعيدة؛ إذ حقّق الكيميائيون حُلمهم في تصوير الجُزيئات والذرّات في أثناء تفاعلها باستخدام كاميرات متطوّرة جدا، وفي رؤيتها بالتصوير البطيء.

جاءت هذه الإنجازات بفضل جهود آلاف العلماء الذين كشفوا أسرار تركيب الجزيئات أو اصطنعوها، أو ابتكروا التجهيزات المساعدة؛ أو توصّلوا لنظريات تفسّر ما خفي من أسرار التفاعلات. وقد حصل ١٣٦ من علماء الكيمياء على جائزة نوبل في هذا القرن منفردين أو مجتمعين.

يمكن القول إنّ علم الكيمياء تطوّر عَبر مراحلَ عدّة؛ أولها

مرحلة السحر الأسود Black magic؛ وهي المرحلة التي ازدهرت فيها الحضارات القديمة وامتدت حتى ظهور المسيحية، وغلبت فيها الغيبيات والخرافات على التفكير العلمي. وبعدها ظهرت أول نظرية حول تكوين المادة؛ ومؤداها أن جميع المواد تتكوّن من أربعة عناصر هي: الطين (التربة) والهواء والنار والماء. وكانت هذه أول نظرية تحاول تفسير التركيب الكيميائي للمادة. وفي عام ٤٧٨ ق.م.، أعلن لوسيبوس، أستاذ أرسطو، أن المادة تتكوّن من ذرات *Atomos*، وأن الذرات أجسام لامتناهية الصغر، لا تُرى بالعين المجردة، وأنها شديدة الصلابة لا يمكن تقسيمها. وتلا ذلك مرحلة الكيمياء القديمة (الخيمياء أو السيمياء) Alchemy التي امتدت لفترة زمنية طويلة، وانتهت في منتصف القرن السابعَ عشرَ (Encyclopedia Britannica, 1999). وكان من أبرز معالم هذه الفترة ظهور ما سُمّي "حجر الفلاسفة" 'Philosophers stone؛ وهو الحجر الذي ساد الاعتقاد أنه قادر على تحويل الفلزّات الرخيصة الى فلزّات ثمينة، والذي لم يعثر عليه أحد.

وتميزّت هذه المرحلة بظهور الكيميائيين العرب المسلمين (مرحبا، ١٩٧٨؛ طوقان، ١٩٥٦)، بدءاً بجابر بن حيان (١١٢-١٩٧هـ/ ٧٣٠-٨١٣ م)، الذي اعتمد منهج الاستنباط والاستقراء معا. وكان أول من أرسى قواعد «الطريقة العلمية»، التي تعتمد التجربة العملية للوصول الى المعرفة. وقد قدم جابر الكثير من الإنجازات؛ ما جعل العرب يُطلقون على الكيمياء «علم جابر». ثم جاء الرازي (٢٥٠-٣٢٠هـ/ ٨٦٤-٩٣٢م)، الذي برع في الربط بين الطب والكيمياء، واتجه بالكيمياء اتجاها استقرائيا علميا. وبعده جاء المجريطي (٣٣٨-٣٩٨هـ/ ٩٥٠-١٠٠٨م)، الذي اهتم بتجارب الاحتراق وتفاعلاته والتغيّرات التي يحدُثها في أوزان المواد، قبل بريستلي ولافوازييه بقرون. ويُعَدّ الجلدكي (توفي عام ٧٤٣هـ/ ١٣٤٣م) آخر العمالقة من علماء العرب في مجال الكيمياء. وقد شهد مؤرخو العلوم بأهمية ما قدّمه هؤلاء العلماء لعلم الكيمياء. فهذا ديورانت في كتابه «**قصة الحضارة**» يقول: «نتيجة للجهود العظيمة التي قام بها علماء العرب والمسلمين، بدأت الكيمياء تأخذ صورة علم حقيقي؛ وهم أول من أدخل التجربة الموضوعية في دراسة الكيمياء». وانتقلت إنجازات العلماء العرب في

مجال الكيمياء في القرن الثالث عشر الى أوروبا، وكان لها دور رئيسيّ في القضاء على فكرة حجر الفلاسفة. ومنذ ذلك الوقت، تولّى علماء الغرب حمل الراية. وكان من أوائل من حققوا إنجازا مهمّا في هذا المجال روبرت بويل البريطاني، الذي وضع ما يُسمّى قانون بويل للغازات، والذي وضعت اكتشافاته ونظريّاته نهاية لنظرية العناصر الأربعة التي تكوّن المادة.

في عام ١٧٢٩، ابتكر جورج شتال مفهوم اللاهوب أو الفلوجستون Phlogiston، وعرّفه بأنه مادة خفية غير مرئية لا لونَ لها ولا رائحةَ ولا طعمَ، ولها كتلة سالبة! وراجت هذه النظرية الى أن أثبت أنطوان لافوازييه بطلانها بتجاربه البارعة على الاحتراق، التي أجراها بين عامي ١٧٧٦-١٧٨٢، والتي وضعت نهاية حاسمة لكل من نظرية العناصر الأربعة ونظرية الفلوجستون. لذلك، يُعدّ لافوازييه الأب الشرعيّ للكيمياء الحديثة.

في عام ١٨٠٣، وضع جون دالتون أسس النظرية الذرية الحديثة (Greenaway,1966). وكان من أوائل من قدّر أهمية هذه النظرية الكيميائي الشهير جاكوب (يعقوب) برزيليوس، الذي تمكّن منذ عام ١٨١٠ من تحديد الأوزان الذرية الدقيقة للعناصر الكيميائية، ووضع نظاما موحدا لتسميتها ولرموزها ما زال مستخدَما حتى يومنا هذا. وترسّخت فكرة الارتباطات القوية بين الذرات، وكذلك فكرة الجزيئات، بالأعمال التي قام بها الفيزيائي الإيطالي أميديو أفوغادرو (١٧٧٦-١٨٥٦)، والكيميائي الإيطالي ستانيسلو كانيزارو (١٨٢٦-١٩١٠)؛ إذ أدّت نظرياتهما الى إيجاد وسيلة لتحديد الأوزان والحجوم الجزيئية. وكان ذلك بداية لنضوج فعلي لعلم الكيمياء؛ وبدأ ترتيب العناصر الكيميائية في أطُر ونُظُم محددة (Ihde,196).

بلغ عدد العناصر المعروفة عام ١٨٦٩ ثلاثة وستين عنصرا. في ذلك العام، تمكّن ديمتري مندليف (١٨٣٤ ـ ١٩٠٧) من تنظيم هذه العناصر في أول جدول دوري. وتطوّر جدول مندليف إلى الجدول الدوري الحديث الذي تنتظم فيه العناصر المختلفة (Van Spronsen,1969).

بعد هذا الاستعراض المختصَر لتطور الكيمياء، يُمكن عرض أبرز إنجازات الكيمياء في القرن العشرين من خلال المجالات الآتية:

١- كشف تركيب الذرة.

٢- الاصطناع الكيميائي وتركيب الجزيئات.

٣- التفاعل الكيميائي وآليّاته.

٤- تطور تكنولوجيات التحليل الكيميائي.

٥- تعليم الكيمياء.

هذه المجالات ترتبط ببعضها بعضا ارتباطا وثيقا. والتقدم في أي منها يعني بالضرورة تقدّمًا في مجال آخرَ أو أكثر.

١. كشف تركيب الذرّة

(Greenaway,1966; Zimmerman *et al.*,1995; Simov,1993)

لقد تحقق الكثير في القرن العشرين في هذا المجال نتيجة للتعاون المثمر بين علماء الفيزياء والكيمياء. وكان لعلماء الفيزياء فضل كبير في كشف تركيب الذرة؛ فتمثّلت البدايات الحقيقية في نظرية دالتون الذرية، التي وضعها عام ١٨٠٣ وشكلّت أساسا للنظرية الذرية الحديثة.

أدرك العلماء أن الفهم الحقيقي لقوانين الكيمياء يعتمد على معرفة التركيب الفعلي للذرات. ويتمثل الاختراق الأول الذي تحقق بعد دالتون في اكتشاف جوزيف ثومسون عام ١٨٩٧ لأحد مكونات الذرة، وهو الإلكترون الذي يحمل شحنة سالبة. ولما كانت الذرة تحمل شحنة متعادلة، فقد بدأ الفيزيائيون في التساؤل عن الجزء الآخر من الذرة الذي لا بد أن يحمل شحنة موجبة.

وفي عام ١٨٩٨، نشرت ماري كوري (Pasachoff,1996) أول بحث لها عن «الإشعاع المنبعث من اليورانيوم والثوريوم». وكانت أول من ابتكر تعبير «النشاط

الإشعاعي» Radioactivity، ليعبر عن الاشعاع المنبعث من الذرة نفسها. وكان ذلك إيذاناً بفتح المجال أمام العلماء في أوائل القرن العشرين لكشف تركيب الذرة. وجاء إيرنست رذرفورد (١٨٧١-١٩٣٧) ليثبت في بحوثه عن جسيمات ألفا أنّ الذرّة تحتوي على شحنة كهربائية موجبة مَرْكَزية، تتركز في نقطة معينة (إشارة إلى النواة)، ويحيط بها شحنات كهربائية سالبة في توزيع كروي (إشارة إلى الإلكترونات). وتُعدّ بحوث رذرفورد البداية الحقيقية لفهم تركيب الذرة.

ولم يمضِ سوى عام واحد على ذلك حتى أعلن نيلز بور (١٨٨٢-١٩٦٢) نظريته الذرية التي تعالج عيوب نظرية رذرفورد؛ فاستحق عليها وعلى إنجازاته عن تركيب الذرّة جائزة نوبل عام ١٩٢٢. وإذا كان أفوغادرو وكانيزارو قد عرفا في القرن التاسعَ عشرَ أن الذرات ترتبط مع بعضها بعضا لتكون الجزيئات، فإن الكيفية التي يتحقّق بها هذا الارتباط لم تتضح إلا بعد ظهور نموذج رذرفورد-بور، الذي يستدل منه على أن الترابط بين الذرات يحدث حينما تتوافر إلكترونات غير متزاوجة في الغلاف أو المدار الخارجي للذرة. وأصبح يُطلق على عدد الإلكترونات في الغلاف الخارجي: تكافؤ الذرّة Valence؛ وعلى الترابط بين الإلكترونات: التساهم Covalency.

إضافة إلى أهميتها القصوى عن تركيب الذرّة، أثارت نظرية بور لدى العلماء الكثير من التساؤلات عما إذا كانت الإلكترونات جُسيْمات أم موجات؟ ولماذا تغيّر الإلكترونات مداراتها؟ وما القوى التي تحافظ على تماسك نَوَى الذرات، وتحول دون تنافر البروتونات الموجبة بداخلها؟ وهل تحتوي النواة على جُسيْمات أخرى غير البروتونات؟

تصدى العلماء للإجابة عن هذه التساؤلات منذ مطلع القرن العشرين. وكان رذرفورد تنبأ بوجود «النيوترونات» في نَواة الذرة عام ١٩٢٠ من دون أن يستطيع إثبات ذلك؛ لكن تلميذه جيمس تشادويك تمكّن عام ١٩٣٢ من إثبات وجود هذه الجسيْمات، بعد أن أخبرته ماري كوري عن اكتشافها لإشعاع متعادل ذي طاقة عالية عند قذفها عنصر البريليوم بجسيمات ألفا. وهكذا، أكمل تشادويك نموذج التركيب الأساسي الذي يشتمل على الإلكترونات السالبة، والبروتونات الموجبة،

والنيوترونات المتعادلة؛ واستحق على ذلك جائزة نوبل في الفيزياء عام ١٩٣٥ .

وبقيت الذرّة، على ضآلتها وصغر حجمها، مرتعا خصبا للبحث العلمي على مدى السنين. وتمكن الفيزيائيون من الغوص في خفايا تركيبها. وبدأت تبوح بأسرارها حين استخدم الباحثون مسارعات الجسيمات. وفي عام ١٩٦٨، اكتشف العلماء أن البروتونات تحتوي على جسيمات أصغر منها أطلق عليها اسم الكواركات، وعددها ستة؛ كما اكتشفوا جسيمات أخرى عدّة. وما زال البحث جاريا عن جسيْم خفيّ يطلق عليه اسم «بوزون هيغْز» Higgs Boson (نسبة إلى الفيزيائيّ هيغْز، الذي تنبّأ بوجوده نظريّا)، يمكنه أن يتفاعل مع سائر الجسيمات ليمنحها صفات المادة. ويُطلق العالم ليون ليدرمان على هذا البوزون اسم «الجسيْم المقدس»، ويعتقد أن اكتشافه أمر لا بد منه لفهم وحدة الخَلْق والكَوْن. لكن علماء الفيزياء لم يتمكّنوا حتى نهاية العام ٢٠٠١ من العثور على هذا الجسيم؛ مَعَ أنّ الأمل ما زال يراودهم في ذلك.

ولم يقتصر الأمر على ذلك؛ إذ إن البحث في تركيب الذرة هو الذي قاد الى اكتشاف الطاقة الهائلة الكامنة في نَوَاتها. وهذا ما قاد الى تفجير هذه الطاقة واستخدامها في مجالات الحرب والسلم، ودخول العالم فيما يسمى «العصر النووي»؛ بعد أن توصل العلماء الى تفاعلات الانشطار النووي والاندماج النووي، وقدرة كل منها على توليد كم هائل من الطاقة، يمكن استخدامها في إعمار العالم أو تدميره.

٢. الاصطناع الكيميائي وتركيب الجزيئات

لا يكتفي الكيميائيون باختبار خصائص المركّبات الكيميائية المتوافرة وسلوكها؛ لكنهم يعمدون أيضا إلى اصطناع مركبات جديدة لم تكن معروفة من قبل. والاصطناع الكيميائي هو قلب الكيمياء النابض وأحد أهم إنجازاتها. ولا شك أن قدرة الكيميائيين على اصطناع مركبات كيميائية جديدة ومعقدة زادت زيادة هائلة في القرن العشرين. فحصل الكيميائي الألماني إميل فيشر على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٠٢؛ اعترافاً

بأهمية ما حققه في مجال اصطناع السكر والپيورين Purine. وتلاه الألماني أدولف فون باير، الذي حصل على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٠٥؛ اعترافا بفضله على الصناعات الكيميائية، واصطناعه الكثير من الأصباغ العضوية والمركّبات العطرية الأروماتية. وفي عام ١٩٢٩، تمكّن الكيميائي الألماني هانس فيشر من اصطناع مادة الهيمين التي تعطي الدم لونه الأحمر؛ وقد وصفت لجنة نوبل هذا الانجاز بأنه «عمل عملاق»، ومنحته جائزة نوبل عام ١٩٣٠. ويُعدّ عمل فيشر متواضعا إذا قيس بما أنجزه بعد ذلك روبرت ودوورد، الذي اصطنع ڤيتامين B12 وحصل على جائزة نوبل عام ١٩٦٥؛ أو إذا قيس بإصطناع البليتُكسين Palytoxin، الذي يحتوي على ٦٤ ذرة كيرالية، ونهض به يوشيتوكيشي في جامعة هارڤرد.

وبفضل الفهم الصحيح لآليات التفاعل الكيميائي وامتثالات المركبات الكيميائية، تمكّن الباحثون من رسم خطط دقيقة لاصطناع مركبات جديدة. علاوة على ذلك، فإن توافر عدد هائل من الكواشف Reagents الكيميائية ساعد على تنفيذ الكثير من التحويرات اللازمة لخدمة عملية الاصطناع.

في بدايات القرن العشرين، كان العاملون في مجال الاصطناع العضوي هم الذين يقومون بكم هائل من الأعمال المخبرية ويقرأون كما كبيرا من الأدبيات الكيميائية. لذلك، تجمعت لديهم المعرفة اللازمة لتحقيق أهدافهم؛ لكنهم لم يكونوا على دراية كاملة بآليات التفاعلات الكيميائية.

وفي العشرينيّات من القرن العشرين، أرسى روبرت روبنسن وكرستوفر أنغولد وغيرهما دعائم النظرية الإلكترونية لآليات التفاعلات العضوية (Pauling,1985)، وسلطوا الضوء على إعادة تنظيم الأزواج الإلكترونية في أثناء انكسار الروابط الكيميائية وتكونها. لقد شكل التقدم في فهم آليات التفاعلات الكيميائية واحدة من أهم الثورات العلمية في القرن العشرين. وسمحت هذه النظرية للباحثين بالتنبؤ بمدى فاعلية مركب عضوي ما تجاه الكثير من الكواشف. وساعد ذلك على قيام الكيميائيين بالمزيد من المشروعات البحثيّة والاصطناعات المعقدة، التي لم يكن بالإمكان إجراؤها قبل وضع هذه النظرية (Epiotis,1982).

ومن الإنجازات المهمة التي ساعدت على تقدم الاصطناع العضوي مبادئ «التحليل الامتثالي» Conformational analysis، التي وضعها ديريك بارتن عام ١٩٥٠، بعد دراسته للستيرويدات؛ وبيّن أن بالإمكان فهم فعاليتها في ضوء الامتثالات التي يمكن لجزيئاتها أن تتخذها. وهذا يعني الترتيب الثلاثي الأبعاد للذرات الذي يمكن تغييره بدوران هذه الذرات حول الروابط الأحادية. واستحق بارتن جائزة نوبل عام ١٩٦٩. وأصبح التحليل الامتثالي أساسيا بالنسبة للعاملين في مجال اصطناع المركبات الستيرويدية، وانتشر استخدامه في مجالات الكيمياء الحيوية وعلم الإنزيمات والبيولوجيا الجزيئية؛ حيث يُشكّل مفتاحا لفهم طريقة تأثر الإنزيمات بركازاتها Substrates. وكان التحليل الامتثالي أشبه ما يكون بالقنبلة التي فجّرت معارفَ جديدة في مجال الاصطناع؛ ذلك أن معظم المركبات العضوية المعقدة في الطبيعة تتكوّن من جزيئات كيرالية ولها كيمياء فراغية. ولم تبدأ انطلاقة اصطناع هذه المركبات إلا بعد فهم الباحثين للتحليل الامتثالي (Lin,1998).

وكان للتقدم الموازي الذي حدث في مجال الأدوات المستخدمة في الاصطناع أثر كبير في رفع قدرة الباحثين على اصطناع الكثير من المركبات العضوية المعقّدة بخطوات عدّة ومتتابعة. لقد توافر كم هائل من المعرفة بأنواع متعددة من التفاعلات والكواشف، التي أتاحت للباحثين اختيار الطريقة الفُضلى لاصطناع الجزيئات وتحويرها. ومن الأمثلة على ذلك أن تفاعل الدينات والدينوفيلات لم يُعترف به طريقةً عامّةً لاصطناع الحلقات السداسية، إلا بعد نشر بحوث العالمَيْن أوتو ديلز وكورت ألدر في أواخر العشرينيّات. ويُعدّ تفاعل ديلز - ألدر الآن من أكثر الطرق شيوعا لاصطناع المركبات الحلقية. ومنح هذان العالمان جائزة نوبل عام ١٩٥٠.

إضافة إلى هذه الأدوات الكيميائية، بدأ الكيميائيون في استخدام أداة منطقية لتصميم الاصطناع المطلوب، ووضع استراتيجية لذلك تَعتمد على ما يُسمّى «تحليل الاصطناع التراجعي». فيبدأ الكيميائيون من الجزئ الهدف، ثم يأخذون في التراجع لتعرّف المواقع التي يمكن كسرها، وينتهُون بذلك إلى تصميم «شجرة» للخطوات والمواد البينية؛ مشكّلين مجموعة من نقاط الانطلاق نحو الاصطناع. وعلى أساس

هذه الاستراتيجية، ظهرت برامج حاسوبية تتبع هذا الأسلوب في التحليل، وتقترح طرقا للاصطناع.

لقد كان لهذه النجاحات والخبرات التي حققها الكيميائيون أثر في تحقيق إنجازات مهمة في مجال الاصطناع. وفيما يأتي توضيح لبعض منها:

أ- اصطناع العقاقير

شكّل اصطناع العقاقير ميدانا رحبا للتعاون بين الكيمياء والعلوم الطبية (لاحظ أن كلمة Chemist تَعني أيضاً «صيدلي»). وبدأ الكيميائيون باصطناع العقاقير بشكل منتظم منذ بدايات القرن العشرين؛ لكنها كانت محاولات متواضعة تعتمد في معظمها على اجراء تحويرات على عقاقير طبيعية أو تحسين ما هو معروف منها. ومنذ أواخر الثُلُث الأول من القرن العشرين، بدأت بعض العقاقير الاصطناعية في الظهور. ففي عام ١٩٣٢، سجلت براءة اختراع خاصة بصبغ البرونتوسيل بوصفه عاملاً مضاداً للبكتيريا. وكان ذلك بداية لظهور عائلة عقاقير السلفا، لتُصبحَ أول مجموعة من المضادات الحيوية الواسعة الاستخدام. وكان ألكسندر فلمنغ اكتشف البنسلين عام ١٩٢٨ بالصدفة. لكنه لم يُجرب علاجا إلا عام ١٩٤١؛ ثم أصبح بالإمكان إنتاجه بكميات تجارية، وحُدّد تركيبه الكيميائي. وصنع الكيميائيون كذلك من عائلة المسكنات البسيطة: الأسبرين بأشكاله المختلفة والباراستيمول (التايلينول)، اللذين يُعدّان أكثر المسكنات مبيعا في العالم. ومن مئات العقاقير المهمة التي أنتجت بعد ذلك: عقار لازيكس عام ١٩٦٠، الذي انتشر استخدامه لعلاج ارتفاع ضغط الدم؛ والفاليوم عام ١٩٦٣؛ وسيسبلاتين Cisplatin، الذي كان أول عَقّار يستخدم في علاج الأورام السرطانية في الخصية والمبيض والرئة والمثانة؛ وتاغاميت سميتيدرين عام ١٩٧٤، لتلافي فرط الحموضة في المعدة ولعلاج قرحة المعدة. وفي مجال علاج الإيدز، اعتُمد بعض العقاقير في الولايات المتحدة؛ منها: أزيدوثاميدين، ويسمى AZT؛ وداي ديوكسي سايتيدين Dideoxycitidin، ويطلق عيه اختصارا ddc؛ وكذلك داي ديوكسي إينوزين Dideoxyinosine. لكن هذه العقاقير تعاني من عيبين: مفعولها محدود الأمد؛ ولها سمّيّة عالية نسبيا *(www.dddmag.com)*.

وشهدت الأعوام الأخيرة من القرن العشرين توافر عقار الڤياغرا، الذي كان حُلما للملايين ممن يعانون الضعف الجنسي ويحلمون بشباب متجدد.

وإضافة إلى الطرق التقليدية، حدث تطور كبير في مجال صناعة العقاقير على أساس بنيتها؛ وهي طريقة تعتمد على التركيب الجزيئي للهدف المقصود بهذا العقّار في الجسم. وتمتاز هذه الطريقة بسرعتها وقلة نفقاتها. وتمثلت المحاولة الأولى لاصطناع عقاقير «سابقة التصميم» في تحضير قواعد البيورين والپريميدين الموجودة في مركّب DNA (بيغ وآخرون، ١٩٩٤). وأدت بحوث غيرترود إليون وزميلها جورج هيتشينغز في هذا المجال إلى تحضير سلسلة من العقاقير التي أوضحت الفرق في كيفية أيض الميكروبات أو خلايا السرطان هذه القواعدَ المحوّرة، مقارنةً بما يجري في الخلايا العادية. وقد منح هذان الباحثان جائزة نوبل عام ١٩٨٨؛ تقديرا لابتكارهما هذه الطريقة المنطقية لتصميم العقاقير، تمهيدا لاصطناعها. واليوم يستفيد الكيميائيون، بفضل الحواسيب، من منجم المعلومات المتوافرة عن تركيب الإنزيمات والمستقبلات وغيرها من الجزيئات الحيوية، ودورْها. وبذلك، أمكن للكيميائيين أن يُصمموا الجزيئات التي تؤدي أغراضا عدّة؛ ما يجعلها أكثر فعالية وجودة وأقل سمّية من الأدوية التي تُكتشف بطرق أخرى. ذلك أن العقار الذي يظل مرتبطا بهدفه يمكن تناوله بكميات أصغر؛ مقارنة بالأنواع الأخرى من العقاقير التقليدية، التي تنفصل عن هدفها بسرعة أكبر. علاوة على ذلك، فإن هذا العقار المصمم ليوائم موضعا معينا في أحد البروتينات لا يتفاعل مع أي جزئ آخر؛ ما يقلل من آثاره الجانبية غير المرغوب فيها. وقد نجحت هذه الطريقة التي تعتمد على استخدام البرامج الحاسوبية في إنتاج الكثير من العقاقير الواعدة؛ وهي الآن موضع التجريب السريري. ومن بينها: عقاقير لعلاج الإيدز، وفرط ضغط العين (الغلوكوما)، وبعض أنواع السرطان؛ ولتقليل تجلّط الدم.

وفي تطور مهمّ لصناعة العقاقير، ظهرت طريقة جديدة سميت «الكيمياء التوافيقية» Combinatorial Chemistry (Plunkett,1997; Borman,1999)، يُحضّر بها عدد كبير من المركبات المتقاربة التركيب؛ ثم يجري مسح هذه المجموعة لانتقاء المركبات ذات القيمة العلاجية المحتمَلة. وتتميز هذه الطريقة بسرعتها وقلة كلفتها؛ مقابل الطرق

التقليدية، التي كانت تستغرق أعواماً عدة وتكلف ملايين الدولارات لإنتاج عقار جديد. ويقوم الكيميائيون بعمل التجمعات التوافيقية أو الروابد Libraries للمركّبات المنوي اختبارها. وهم يعتمدون في سبيل ذلك على تكنولوجيتين توافيقيتيْن: أولاهما، تُسمّى «الاصطناع المتوازي» Parallel synthesis؛ وقد استخدمت فيها الروابيط (جمع رابوط Robot) لمزيد من الدقة في العمل. وأصبحت بذلك طريقة مؤتمتة، يمكن للرابوط الواحد فيها إنتاج ١٠٠٠ مركّب في اليوم. وتسمى التكنولوجيا الثانية «اصطناع الفصل والخلط». وهذه ابتُكرت في أواخر الثمانينيّات من القرن العشرين؛ وهي تختلف عن سابقتها في أنها تنتج خليطا من المركبات المتقاربة في الإناء نفسه. وثمّة وسائل عملية لفصل المركبات المتقاربة واختبارها.

وعلاوة على ما حققته الكيمياء التوافيقية من نجاحات في مجال صناعة العقاقير، فإنها بدأت أيضا في التأثير على حقول أخرى؛ منها: علم المواد، حيث استخدمت الكيمياء التوافيقية في صناعة الموصلات الفائقة؛ وحقل البلورات السائلة؛ إضافة إلى تصنيع أنواع خاصة من البطاريات، وغير ذلك مما يطمح العلماء الى إنتاجه بسرعة كبيرة وكلفة قليلة. وما زالت الأمور في بداياتها.

ب ـ المبلمرات الاصطناعية Synthetic Polymers

عرف الكيميائيون بعض المبلمرات الاصطناعية منذ بداية القرن العشرين (Flory,1953)، وتمكنوا من إنتاج بعض المبلمرات الطبيعية المحوّرة؛ مثل: ريون الفسكوز، وأسيتات السليلوز. ورُغم قدرتهم على إنتاج هذه المبلمرات، إلا أنهم لم يكونوا على علم بطبيعة تركيبها. وكان المفهوم السائد في بداية القرن العشرين أن هذه المبلمرات تجمّعات من جزيئات صغيرة ترتبط فيما بينها بقوى ضعيفة. لكن الثورة الأولى في مجال المبلمرات تحققت على يد هيرمان شتاودنغر، الذي ابتكر مصطلح «الجزيئات العملاقة» Macromolecules عام ١٩٢٢، وقوبلت أفكاره آنذاك بالرفض. بَيْدَ أنّ البحث في تركيب هذه الجزيئات أثبت صحة نظريته بأن هذه الجزيئات تشتمل على آلاف الذرات، التي ترتبط فيما بينها بروابط متماثلة؛ تماما كما هو الحال في الجزيئات الصغيرة. وقد منح شتاودنغر جائزة نوبل عام ١٩٥٣؛ اعترافا بأهمية

إنجازه. وهكذا فتحت أفكاره المجال أمام الباحثين لتحضير نوع جديد من المواد الاصطناعية؛ فتمكن ولاس كاروترز من تحضير عائلة كاملة من المبلمرات، هي أنواع النايلون المختلفة، بتكاثف جزيئات عضوية صغيرة. وتشكل هذه المبلمرات جُزءا مهما من الألياف الاصطناعية المستخدمة في صناعة النسيج.

أما القفزة الثانية في مجال كيمياء المبلمرات، فجاءت على يد كارل زيغلر، الذي ابتكر وسيطا أدى استخدامه الى إنتاج نوع ممتاز من البولي إيثيلين عند درجة حرارة وضغط منخفضين؛ خلافا لما كان سائدا آنذاك في إنتاج هذه المادة. بعد ذلك، قامت الوسائط الكيميائية بدور «حجر الفلاسفة»، الذي كان الكيميائيون القدامى يبحثون عنه؛ وأمكن بها تحقيق تقدم هائل في مجال المبلمرات.

واستطاع العالم غيليو ناتا ـ باستخدام وسيط زيغلر ـ تحضير نوع ممتاز من البوليبروبيلين «المنتظم فراغيا» Stereoregular. وكان ذلك فاتحة لتحضير مبلمرات أخرى بمواصفات فراغية محددة. لقد كان لإنجازات زيغلر وناتا أثر كبير في فتح الباب على مصراعيه أمام الباحثين لتحضير مئات المبلمرات الجديدة ذات الاستخدامات الصناعية الفريدة. وكان ذلك مسوّغاً لمنح هذين العالمين جائزة نوبل عام ١٩٦٣.

وجاءت القفزة التالية في هذا المجال باستخدام «آلات جُزيئية» جديدة تتمثل في وسائط الميتالوسين، التي اصطنعت عام ١٩٥٣. وهي جزيئات عضوية فلزية تحتوي على ذرة تيتانيوم أو زركونيوم، وترتبط ذرة الفلز بحلقتين خماسيتين؛ إضافة إلى مجموعتين عضويتين أخريين، وتحيط جميعها بذرة الفلز فيما يشبه صَدَفة محار نصف مفتوحة. وتوجد أشكال مختلفة من هذا الوسيط مستخدمة في الصناعة لإنتاج البوليثين، الذي يفوق في نوعيته مثيله المنتَج باستخدام وسيط زيغلر. علاوة على ذلك، تمكن جون إيوين في أواخر الثمانينيّات وأوائل التسعينيّات من القرن العشرين من انتاج البوليبروبلين بشكليْه الفراغيّين، المتماثل الترتيب Isotactic والمتناوب الترتيب Syndiotactic؛ وهما من أنواع البلاستيك ذات الاستخدامات المتعددة. ويمكن القول إن الأشكال المختلفة لوسائط الميتالوسين ساعدت على إنتاج الكثير من أنواع البلاستيك، وبعثت الحياة من جديد في صناعة المبلمرات (Ewen,1997).

ويُعدّ اصطناع «المبلمرات الموصلة» Conductive polymers إنجازاً هائلاً استحق عليه أصحابه، وهم Heeger, McDiarmid and Shirakawa، جائزة نوبل لعام ٢٠٠٠. وتتلخص أهمية هذا الاصطناع في أنّ اللدائن، خلافاً للفلزّات، لا تستطيع إيصال الكهرباء؛ بل هي عازلة لها. لكن المبلمرات الموصلة لها تركيب كيميائي معيّن يسمح بتوصيل الكهرباء؛ فبدأ بذلك عهدٌ جديدٌ لاستخدامات هذه اللدائن في مجال أفلام التصوير، والشبابيك الذكيّة (التي لا تسمح بنفاذ أشعة الشمس)، والخلايا الشمسية، وغيرها. كما أنّ لهذا الكشف صلة وثيقة بصناعة الإلكترونيات الجزيئية التي تتطوّر بسرعة هائلة تقود حالياً إلى إنتاج أجهزة إلكترونية لامتناهية الصغر؛ بحيث يصبح حجم الحاسوب المحمول كحجم ساعة اليد.

ج ـ الزيوليتات الاصطناعية Synthetic Zeolites

اكُتشفت الزيوليتات الطبيعية أو المعدنية في القرن الثامن عشر، واستخدمت في الادمصاص الانتقائي للمركبات الكيميائية. لكن القرن العشرين شهد اصطناع أول مجموعة من المواد غير العضوية؛ وهي الزيوليتات الاصطناعية، التي أثبتت أهمّيّتها في الكثير من الصناعات الكيميائية، نظرا لتركيبها البلوري واحتوائها على قنوات مجهريّة (ميكروية).

ففي عام ١٩٤٨، تمكّن رتشارد بارر R. Barrer من اصطناع أول مثيل للزيوليت الطبيعي، واستخدَمَ في اصطناعه درجةَ حرارة وضغطاً مرتفعيْن؛ مقلّدا الظروف الطبيعية التي يتكون فيها الزيوليت الطبيعي. وفي أواخر الأربعينيّات والخمسينيّات، أنتجت سلسلة من الزيوليتات الاصطناعية تحت ظروف معتدلة.

ويوجد الكثير من أنواع الزيوليتات التي تُستخدم وسائطَ في التفاعلات الكيميائية؛ وفي عمليات التجفيف، وفصل المواد الكيميائية عن بعضها بعضًا عن طريق الادمصاص؛ أو مواد تبادل أيوني. من هنا، أطلق على هذا النوع الأخير اسم المصافي الجزيئية. على سبيل المثال: تستخدم وسائط الزيوليت في عمليات تكسير البترول، لإنتاج البنزين ووقود الطائرات النفاثة. ومن أنواع الزيوليت التي اصطُنعت، تلك التي

سميت المصافي الجزيئية المتوسطة الحُجُرات Mesoporous؛ ويمكنها فصل الجزيئات الكيميائية الكبيرة، التي يصعب فصلها بالأنواع التقليدية من الزيوليت. وقد بدأ استخدام الزيوليتات في تحضير مساحيق المنظفات بديلا لمركبات الفسفات، التي منع استخدامها في الكثير من الدول الصناعية، لما لها من تأثير ملوث للأنهار والبحيرات (Jensen *et al.*,1994).

على صعيد آخر، يعمل باحثون على استخدام الزيوليت في مجال تخزين الطاقة. وهم يعتمدون في توجههم على أن عملية البناء الضوئي هي أساس الحياة على الأرض؛ إذ يتحول فيها غاز ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء إلى سكريات بمساعدة ضوء الشمس. ويهدف الباحثون إلى تطوير تجمّعات Assemblies لها القدرة على الاصطناع الضوئي، باستخدامها أشعة الشمس لتوليد مركبات وعناصر كيميائية مفيدة؛ ومن ذلك توليد الهيدروجين والأكسجين من الماء. ويستخدم الزيوليت لهذا الغرض بعد تزويده بموادّ حسّاسة، وموادّ أخرى مستقبلة للإلكترونات.

علاوة على ذلك، يعمل الباحثون على استخدام الزيوليت لإنتاج مجسّات Sensors لدرجات الحرارة العالية أو للبيئات الصعبة؛ إذ يمكن استخدامها في تعرّف انبعاثات الغازات العادمة من السيارات، أو في عمليات التحكم في المنشآت الصناعية. ويستخدم العلماء الزيوليت في البحث عن السبب في أن بعض الألياف غير العضوية، مثل الأسبست، تسبب السرطان؛ في حين أن أليافا أخرى، كألياف الزجاج مثلا، لا تشكّل درجة الخطورة نفسها.

د ـ اصطناع الموصلات الفائقة Superconductors والفوليرينات Fullerenes

جرى في أواخر الثمانينيّات اصطناع نوعين جديدين من المواد الكيميائية؛ هي: الموصلات الفائقة، والفوليرينات. فقد اكتشفت ظاهرة الموصلية الفائقة (وهي القدرة على توصيل الكهرباء من دون مقاومة تقريبا) عام ١٩١١ عند تبريد الزئبق في الهيليوم[٤] السائل. ومنذ ذلك التاريخ وحتى منتصف الثمانينيّات، بحث العلماء بين السبائك المختلفة عن مواد فائقة التوصيل عند درجات حرارة معقولة وعملية. وجاء أول

اختراق في هذا المجال من مختبرات IBM في زيوريخ بسويسرا عام ١٩٨٦؛ حين أعلن الباحثون عن اكتشافهم أن سبيكة من أكسيد اللانثانوم والقصدير المشوبة بالباريوم تصبح فائقة التوصيل عند درجة حرارة انتقالية تبلغ ٣٥ درجة كلفن. وتحقق تقدّم كبير في هذا المجال الصناعي المهمّ، الذي يمكن أن يوفر كمّا هائلا من الطاقة. لكن هذه التكنولوجيا ما زالت بالغة الكلفة؛ ما يحول دون استخدامها على نطاق واسع.

وقد حقق علماء اصطناع المواد اختراقا مهمّا في أواخر القرن العشرين؛ حين اكتشفوا أكسيد النحاس الخزفي عام ١٩٨٦، الذي أثبت أفضليته على السبائك الفلزية الفائقة التوصيل. ودلت البحوث التي أجريت على هذه المادة الخزفية على أنها بداية الطريق للوصول الى مواد فائقة التوصيل عند درجات حرارة عادية (Charles *et al.*, 1996).

أما بالنسبة للفوليرينات، فقد اكتشف ريتشارد سمالي وآخرون عام ١٩٨٥ شكلاً جديداً من الكربون أدهش المجتمع العلمي، وحصلوا به على جائزة نوبل عام ١٩٩٦. ومن المعلوم أن الكربون يدخل في تركيب عدد هائل من المركبات العضوية؛ لكنه يوجد بشكل نقي على صورتيْن، هما: الغرافيت، الذي يتكون من صحائفَ كربونية ثنائية الأبعاد؛ والألماس، الذي يتكون من شبكة كربونية ثلاثية الأبعاد. وخلافا لهذيْن النوعيْن، فإن كل جزئ من النوع الجديد يحتوي على ٦٠ ذرة كربون مرتبطة ببعضها بعضا على شكل كرة القدم. وقد أطلق عليه اسم «بكمنستر فوليرين» Buckminster fullerene؛ تيمّنا باسم المهندس والفيلسوف الشهير بكمنستر فولر، الذي ابتكر القبة المثلثية (الجيوديسية) (Dresselhaus *et al.*,1996).

وفي عام ١٩٩١، ابُتكرت أنابيبُ كربونية يُتوقّع لها شأن عظيم واستخدامات باهرة؛ إذ يمكن أن تُصنعَ منها ألياف ذات متانة لم يعرفها الإنسان من قبل. وقد استُخدمت في تغليف أسلاك فلزيّة يقل قطرها عن قطر جزئ الدنا DNA، وأمكن إنتاج هذه الأنابيب النانويّة بقطر لا يتعدى ٠,٥ نانومتر من مشتقات الغلوكوز؛ كما أنتجت أنابيب نانوية أخرى من الحموض الأمينية والپپتيدات، التي يمكن استخدامها قنوات جزيئيّةً لتمر منها الجزيئات عبر الخلايا الحية. ويعتقد العلماء أن هذه الأنابيب

النانوية سيكون لها استخدامات مدهشة في مجال التكنولوجيا النانوية أو الجُزيئية؛ إذ يمكن تصميم جزيئات يمكنها أن تكوّن تراكيب ذاتية البناء لتناسب استخدامات محددة (Schnu,1993). وإذا كان العالم قد شهد ولادة التكنولوجيا النانوية مع نهاية القرن العشرين، فإن القرن الحادي والعشرين قد يشهد ثورة معرفية في هذا المجال يكون لها تأثير كبير على حياة الإنسان من جوانبها المختلفة (Crendal,1997). [انظر فصل «تكنولوجيا النانو» في هذا المجلّد. (المحرّر)]

هـ - اصطناع عناصرَ جديدة

لم تقتصر جهود العلماء على اصطناع موادّ جديدة؛ بل تعدت ذلك إلى استحداث عناصر كيميائية جديدة لا مثيل لها في الطبيعة (Ambruster *et al.*, 1998). ذلك أن الجدول الدوري للعناصر كان يحتوي حتى عام ١٩٤٠ على٩٢ عنصرا متوافرا في الطبيعة آخرها اليورانيوم (٩٢). وفي ذلك العام، تمكن الباحثون في جامعة كاليفورنيا من اصطناع أول عنصر بعد اليورانيوم، أطلقوا عليه اسم نبتونيوم، ليكون العنصر رقم (٩٣). تحقّق ذلك اعتماداً على فرضية وضعها عالم الفيزياء فيرمي، تقول: إنّه يمكن اصطناع عناصر جديدة عن طريق صدم نواة عنصر ثقيل بجسيمات غيْر مشحونة هي النيوترونات؛ إذ يمكن لواحد من هذه النيوترونات أن يخترق النواة ويبقى حبيسا فيها، ثم يتحول إلى بروتون ليزيد بذلك عدد البروتونات في النواة، ويرتفعَ عددها الذري، ويتكون عنصر جديد. وفي الأربعينيّات والخمسينيّات من القرن العشرين، توالت عمليات اصطناع عناصر جديدة، وتمكّن الباحثون في مختبر لورنس بيركلي من اصطناع سلسلة من العناصر؛ بدءا بالبلوتونيوم (٩٤)، وانتهاء بالفيرميوم (١٠٠).

ولم يتمكن العلماء من اصطناع عناصرَ جديدة أخرى على أساس فرضية فيرمي؛ فبحثوا عن وسيلة جديدة. وقد وجدوها في دمج نَواتي عنصريْن للحصول على عنصر ثالث. وكانت أولى البشائر اصطناع عنصر المندليفيوم (١٠١). ومع حلول عام ١٩٧٤، كانوا اصطنعوا بهذه التكنولوجيا العناصر: نوبليوم (١٠٢)، ولورنسيوم (١٠٣)، ورذرفورديوم (١٠٤)، ودوبنيوم (١٠٥)، وسيبورغيوم (١٠٦).

مرة أخرى لم يتمكّن العلماء من اصطناع عناصرَ أخرى غير هذه عن طريق دمج نواتي عنصريْن، إحداهما خفيفة والأخرى ثقيلة؛ وكان لا بد من البحث عن طريقة جديدة. وفي بداية الثمانينيّات، اكتشف العلماء الألمان طريقة الاندماج البارد، وتمكنوا باستخدامها من تحضير العناصر بوريوم (١٠٧)، وهاسيوم (١٠٨)، ومايتنيريوم (١٠٩). وفي أواخر عام ١٩٩٤، حضّروا العناصر (١١٠)، و(١١١)، و(١١٢). ومنذ عام ١٩٩٤، أضافت مجموعات البحث في كل من ألمانيا والولايات المتحدة وروسيا ستة عناصر جديدة الى الجدول الدوري؛ وبلغ العدد الذري لأكبرها وآخرها (١١٨). وكان أهمها وأكثرها ثباتا العنصر (١١٤)، الذي أثبت وجود «جزيرة الثبات» التي طالما حلم بها الكيميائيون والفيزيائيون (Oganessian *et al.*, 2000). والسؤال الذي يبقى مطروحا: إلى متى يستمر الباحثون في تحضير عناصر جديدة لا يوجد لها نظير في الطبيعة؟ وما الاستخدامات التي تنتظر هذه العناصر التي لم يعرفها الإنسان من قبل؟

و- اصطناع الأسلحة الكيميائية

بدأ التاريخ الحديث لاستخدام الأسلحة الكيميائية مع الحرب العالمية الأولى؛ حين استخدم الفرنسيون في حربهم ضد الألمان قنابل مليئة بمادة مثيرة للعيون ومدمعة، هي بروم إستر الخل. وفي عام ١٩١٥، رد الجيش الألماني باستخدام قنابل غاز الكلور، بناء على مشورة قدمها أستاذ الكيمياء الألماني الشهير هابر لقيادة الجيش الألماني. وبعد شهور قليلة، استخدم الجيش الألماني في هجوم على القوات البريطانية غاز الفوسجين؛ وهو غاز شديد السمّيّة، يصعب اكتشافه وتعرّف وجوده. وبعدها، ابتكر الكيميائيون الخردل أو الإيبرايت، الذي استخدمه الألمان في الحرب عام ١٩١٧.

ومنذ نهاية الحرب العالمية الأولى، بدأ سباق محموم بين الدول لتحضير الأسلحة الكيميائية. وظهر منها أنواع مختلفة؛ مثل: المُضببات Fog agents، والحارقات Fire agents، والمُدمعات Tear gases، ومُهيّجات الأنف والحلق، ومُهيّجات الجلد، وسموم الخلايا والدم. ونشط الباحثون في الولايات المتحدة في هذا المجال، وبلغ نشاطهم ذروته في أثناء الحرب العالمية الثانية. وأرادوا أن يحضروا ما أسموه «السلاح

الحاسم»، الذي يُبيد النبات والإنسان والحيوان. وأعلنوا عام ١٩٤٤ أنهم تمكنوا من إنتاج «سلاح المستقبل»، الذي وصفوه «بأنه شديد السمّيّة، ويمكن تحضيره بكميات كبيرة وتخزينه لمدة طويلة من دون أن يفقد فعاليته، وبأن له مفعولا سريعا، ولا يتأثر بالأحوال الجوية المختلفة». وعُرف هذا السلاح باسم «السم البرتقالي»، ويحتوي على واحدة أو أكثر من الزمر الكيميائية القاتلة الممثلة بمشتقات «الديوكسين».

علاوة على ذلك، اصطُنعت مركبات أخرى عرفت باسم سموم الأعصاب، من أشهرها: تابون Tabun، وسارين Sarin GB، وسومان Soman GD، وفي إكس VX. وتعتمد آلية مفعول هذه السموم على قابليتها للذوبان في الزيوت والدهون؛ ما يسهل امتصاصها عبر الجلد والأغشية المخاطية في الأنف أو العيون. ومن الناحية الكيميائية، فإن سموم الأعصاب هي مركبات عضوية فسفورية تتميز بسميتها العالية؛ بحيث يكفي ملي غرام واحد منها لقتل الإنسان (الريس، ١٩٨٦).

ز- مولد الكيمياء الحيوية

إذا كانت العَلاقة بين الفيزياء والكيمياء أدت الى الفهم الصحيح للترابط الكيميائي وآليات التفاعلات المختلفة، إضافة إلى كشف تركيب الذرة، فإن لقاء الكيمياء بعلوم الحياة كان من أكثر المجالات خصبا وعطاء في القرن العشرين. لقد كان برزيليوس أول كيميائي تنبأ بأهمية هذه العلاقة؛ حين عبر عن ذلك في رسالة الى ملك السويد عام ١٨٠٦، قائلا: «إن الكيمياء هي أكثر علم سيساهم في فهم علوم الحياة».

وحصل إدوارد بوخنر E. Buchner على جائزة نوبل لعام ١٩٠٧؛ تقديراً لتجاربه على تخمّر السكر وتكسّره إلى الكحول وثنائي أكسيد الكربون، بغياب الخميرة وبفعل الإنزيمات. وعُدّت هذه النتائج إعلاناً بمولد «الكيمياء الحيوية».

وتعرّف الكيميائيون على الهرمونات كمنظّمات كيميائية للعمليات الحيوية في جسم الإنسان. وكان من هذه الهرمونات: السكريتين، والإنسولين، والأدرينالين، والتايروسين، وهرمونات الجنس، وغيرها. وتبيّن للكيميائيين أن هذه الهرمونات في معظمها مركّبات من عائلتَيّ البيتيدات والستيرولات. ومع ظهور «القفّاءات النظيرية»

Isotopic tracers في أواخر الثلاثينيات، حدث تقدّم كبير في مجال الكيمياء الحيوية؛ حيث استخدمت النظائر في تتبع الكثير من التفاعلات الحيوية، وعمليات الأيض. واهتم الكيميائيون كذلك بالإنزيمات؛ وهي پروتينات لها تركيب كيميائي نوعي يؤهلّها لحفز الكثير من التفاعلات الحيوية.

ومع تقدم المعرفة في هذا المجال، أصبح بإمكان الكيميائيين دراسة نظم جُزيئية معقدة شبيهة بتلك المتوافرة في الكائنات الحية. وفي الوقت نفسه، بدأ علماء الحياة الغوص في النظم الحية الى مستوى التآثر Interaction بين الجزيئات. وكانت حصيلة ذلك مَوْلد ما يُسمّى الآن «البيولوجيا الجُزيئية» Molecular biology أو «الكيمياء الحيوية»، كما يطلق عليها بعض الكيميائيين (Albert *et al.*,1995).

وكما أسلفنا، فقد أعلن شتاودنغر عام ١٩٢٠ أن بإمكان الجزيئات أن تكوّن سلاسل طويلة أطلق عليها اسم الجزيئات العملاقة. وذهب بعض مؤرخي الكيمياء إلى اعتبار اقتراح شتاودنغر أهم مفهوم كيميائي ظهر في القرن العشرين، لأنه وضع الأساس النظري لكل من علم المبلمرات والتكنولوجيا الحيوية، ولأن ما يقرب من ٨٠٪ مما يثير اهتمامنا من المواد يتكون من جزيئات عملاقة. وفي منتصف الثلاثينيات، تمكن عالم كيمياء سويدي من تنقية الكثير من الپروتينات، وأثبت أنها جزيئات عملاقة لها أوزان جزيئية تناهز ١٧٢٠٠ لپروتين الميوغلوبين، وما يقرب من سبعة ملايين في جزيء الهيموسيانين الموجود في الحلزون. ونشط البحث في مجال الجزيئات الحيوية العملاقة. وتحقق إنجاز مهمّ في الخمسينيّات؛ حين تمكّن عالمان في جامعة كيمبردج من التوصل إلى تركيب أحد الپروتينات باستخدام الأشعة السينية. ونشط الكثيرون من العلماء في مجال فصل الجزيئات الحيوية وتحديد تركيبها. ومع حلول عام ١٩٦٠، كانوا توصلوا إلى بلورة ٧٥ إنزيما.

لكنّ كشفا غاية في الأهميّة أعلن عام ١٩٥٣، يتعلق باكتشاف تركيب جزئ الدنا على يد العالمَيْن جيمس واطسون وفرانسيس كريك، اللذين اكتشفا أن هذا الجُزئ له تركيب لولبي مزدوج. ويُعدّ هذا الاكتشاف أحد أهم الإنجازات العلمية في القرن العشرين، وشكل حلقة وصل بين الكيمياء وعلوم الحياة. وافترض هذا النموذج أن

الجينات ما هي إلا وحدات كيميائية يمكن فهمها وتحليلها، وربما تغييرها، باستخدام الوسائل الكيميائية.

كان لهذا الكشف أثر كبير على نشاط الباحثين في الخمسينيّات والستينيّات؛ إذ فصلوا الإنزيمات التي تتحكم في أيض الدنا، وحدّدوا تتابع الحموض الأمينية في البروتينات التي تتميز بشيفرات وراثية لها طبيعة كلية وشاملة. ومن بين هذه الإنزيمات: الإنزيم المقطّع Restriction enzyme المتخصص في عمله، الذي يقطع سلسلة الدنا في مواقع محددة. واستُخدم هذا الإنزيم منذ عام ١٩٧٢ في كسر جزيئات الدنا العملاقة الى أجزاء محددة لدراسة تركيبها. وأمكن استخدامه وإنزيم آخر، هو إنزيم الربط Ligase، لإنتاج الدنا المأشوب (المعاد التركيب) Recombinant DNA، الذي أثبت أهميته الكبرى في مجال هندسة الجينات. ومنذ عام ١٩٧٦، أخذت تؤسّس بأعداد كبيرة الشركات المختصة في هذا المجال. وفي هذه الأثناء، كان الباحثون يطورون طرقا أسرع لتحديد التتابع؛ ومن ثم اصطناع الجزيئات الحيوية العملاقة. وكانت البدايات الأولى عام ١٩٤٥؛ حين ابتكر فريدريك سنغر (جامعة كيمبردج) طريقة جديدة لدراسة تركيب الجزيئات الحيوية، وتمكن باستخدامها من تحديد تركيب الإنسولين عام ١٩٥٣. وتوافرت بعد ذلك الطرق الآلية لدراسة تركيب الجزيئات الحيوية العملاقة. وأدى دخول استخدام الحاسوب في هذه الطرق في الستينيّات والسبعينيّات الى قفزة نوعية في تطوّرها، واستمر ذلك في الثمانينيّات؛ ما أدى إلى وضع برنامج طَموح عام ١٩٩٠ أطلق عليه اسم مشروع الجينوم البشري، بهدف تعرّف تتابع ثلاثة بلايين قاعدة نتروجينية في دنا الإنسان وترتيبها. ويشارك في هذا المشروع مؤسسات حكومية وخاصة من ٥٠ بلدا، ويُكلف ثلاثة بلايين دولار تقريبا.

وتُعدّ إنجازات مايكل سميث، الذي حصل على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٩٣، من أهم الأمثلة على إنجازات الكيمياء في علوم الحياة، خاصة هندسة الجينات؛ إذ يعد هذا العالم الأب الحقيقي لتكنولوجيا «تغيير النشأة بتوجيه الموقع» Site-directed mutagenesis (Moskovits,1995a)، التي أدت إلى ظهور حقل جديد من هندسة البروتينات. وتسمح هذه التكنولوجيا بتغيير ترتيب الجينات بشكل

محدد في مناطق معينة من الدنا باستخدام النويدات القليلة الحدود الاصطناعية Oligonucleotides؛ وهي أجزاء من الدنا اصطناعية قصيرة. وتسمح هذه التكنولوجيا أيضا للباحثين باختبار الدور النوعي للحموض الأمينية في البروتينات.

لقد أتاحت هذه التكنولوجيا مدخلا جديدا لدراسة العَلاقة بين تركيب البروتينات والدور الذي تقوم به. فعَن طريق الطفرة الجينية، أصبح بالإمكان تغيير أي حَمْض أميني في البروتين لتعرّف الدور الذي يقوم به في نشاط البروتين الحيوي. وهي تسمح بفهم أفضل لكيفية عمل النظم الحيوية. ويمكن استخدام هذه الطريقة لتحسين الإنزيمات وجعلها أكثر ثباتا؛ أو حتى لتصميم هندسة بروتينات جديدة بخصائص ووظائفَ معينة.

وباختصار، فتحت أعمال سميث الباب واسعا لإمكانية تقطيع جزيئات الدنا لأجزاء صغيرة؛ ثم إعادة ربط هذه الأجزاء مع بعضها بعضًا بطريقة معينة، لينتج عنها دنا جديد يحمل خصائص وراثية مختلفة تماما عن الأصل، ويتكاثر في الخلية لينتج كائنا جديدا بصفات جديدة.

٣ـ التفاعل الكيميائي وآلياته

إذا كان الاصطناع هو قلب الكيمياء، فإن التفاعل الكيميائي هو الروح التي تبعث فيها الحياة، وتميزها عن سائر العلوم الأخرى، وتفتح لها كل يوم آفاقا جديدة. ويمكن القول: إنه في مطلع القرن العشرين، لم يكن أحد قد توصل الى فهم الكيفية التي تترابط بها الذرات في الجزيئات. ومن الجدير بالذكر أن مجال الروابط الكيميائية هو من أكثر المجالات التي تلاحمت فيها الكيمياء والفيزياء، نظرا للطبيعة النظرية التي يمكن بها تفسير ارتباط الذرات بعضها ببعض. فالنظريات التي وضعها بعض الفيزيائيين في هذا المجال فتحت الباب واسعا أمام فهم طبيعة الرابطة الكيميائية في الجزيئات. ففي عام ١٩٠٤، وضع عالم الفيزياء ثومسون واحدة من أوائل نظريات التكافؤ التي تعتمد على الإلكترونات؛ وهي الجسيمات التي كان اكتشفها قبل أعوام

قليلة. وفي عام ١٩٢٣، نشر عالم الكيمياء الأمريكي غيلبرت لويس كتابا بعنوان «**التكافؤ وتركيب الذرات والجزيئات**»، أوضح فيه أفكاره حول الترابط؛ ومؤداها أن الرابطة الأحادية التساهمية تتكون من زوج من الإلكترونات. وألقت هذه النظرية الضوء على وجود نوعيْن من الروابط التساهمية؛ هما: الرابطة التساهمية القطبية وغير القطبية، تبعا لنوع الذرتين المرتبطتين. لكن هذه النظرية لم تكن قادرة على الإجابة عن جميع التساؤلات في هذا الصدد. وفي هذه الفترة، كان الفيزيائيون منشغلين بتطوير نظرية الكم، التي بدأ ماكس پلانك التفكير فيها منذ عام ١٩٠٠. ويُلاحظ أن الكيميائيين في ذلك الوقت لم يفكروا في موضوع «الكم» ولم يأخذوه في الحسبان؛ لكن بعد ربع قرن من ذلك التاريخ لم يكن بإمكانهم تجاوز هذه النظرية أو إهمالها. وفي عام ١٩٢٦، أعلن إرڤن شرودنغر معادلته حول ذرة الهيدروجين، التي يتعامل فيها مع الإلكترونات على أن لها خصائص الموجات؛ ناقلاً بذلك التفكير العلمي من المدارات الإلكترونية إلى الحالة الموجية للإلكترون. ولا جدال أن نظرية الكم وتطوّرات ميكانيكا الكم غيرت المفاهيم في المسائل الكيميائية، وأصبح بالإمكان تفسير النتائج التجريبية التي كان فهمها عصيا صعبا؛ مثل: الأطياف، والتفاعلات الضوئية (Szabo *et al.*, 1996).

وفي ظل هذه الأجواء العلمية المتقدمة، ولد تفسيران متنافسان ومتكاملان لطبيعة الرابطة الكيميائية، هما: نظرية رابطة التكافؤ Valence bond theory (VB)، والنظرية المدارية الجزيئية Molecular orbital theory (MO). وتعدّ هاتان النظريتان أول معالجة ميكانيكية كموميّة للنظم الكيميائية.

ولدت فكرة نظرية رابطة التكافؤ عام ١٩٢٧ على يد شرودنغر وتلامذته في جامعة زيوريخ؛ حين نشروا معادلة موجية لجزئ الهيدروجين، أمكن بواسطتها حساب القيم التقريبية لجهد التأين، وحرارة التفكك، وغيرهما من الثوابت. ووُجد أن هذه القيم قريبة من تلك التي يمكن الحصول عليها بالطرق الكيميائية والفيزيائية. ودفعت هذه الأفكار العالم الكيميائي لينوس پولنغ إلى تطبيق هذه النظرية على جزيئات أكثر تعقيدا من الهيدروجين. واستخدم مفهوم رابطة التكافؤ لحل مشكلة تكافؤ ذرة الكربون عن

طريق التهجين؛ إذ فشل كل من مفهوم بور حول تركيب الذرة ونظرية لويس لتركيب الروابط الكيميائية في حل هذه المشكلة. وقد وضع پولنغ عددا من القوانين البسيطة حول الرابطة المتكونة من زوج الإلكترونات في بحثه الشهير «طبيعة الرابطة الكيميائية». كما أدخل مفهوم الرنين لشرح تركيب حلقة البنزين. وهكذا، عُولجت الروابط عن طريق ميكانيكا الكم.

ولم يلبث أن ظهر منافس جديد لنظرية التكافؤ؛ متمثلا في النظرية المدارية الجزيئية، التي وضعها الفيزيائيان فريدريك هنْد وروبرت مليكان عام ١٩٢٨. عالجت هذه النظرية جزئ الهيدروجين بطريقة مختلفة. فلم تَنظر اليه كجزئ يتكون من ذرتين ترتبطان فيما بينهما برابطة تكافؤ (كما هو الحال في نظرية رابطة التكافؤ)؛ لكنها تعاملت معه على أنه وحدة متميزة، فقدت فيها ذرتا الهيدروجين المكوّنتان له خصوصيتهما. وقد دعم الفيزيائي النظري إريك هُوكل النظرية المدارية الجزيئية باستخدامها في دراسة البنزين وغيره من الجزيئات العطرية، ووضع بعدها قانونه الشهير حول الحلقات العطرية. ولاقت هذه النظرية مزيدا من الدعم في مجال الطيف والتفاعلات الكيميائية؛ إضافة إلى القوانين التي وضعها كل من ودْوارد وهوفمان، والتي استخدمت بنجاح في التنبؤ بتوجه بعض التفاعلات العضوية وكيميائها الفراغية. وأخيرا، يمكن القول إن نجاح پولنغ في تطبيق نظرية رابطة التكافؤ دفع الكيميائيين إلى قبول ميكانيكا الكم أساسا للنظرية الكيميائية (أي نظرية رابطة التكافؤ)؛ حين وجدوا أن النظرية المدارية الجزيئية تشكل طريقة أفضل لاستخدام ميكانيكا الكم (Liberlies,1970).

وفي حين كانت كل من نظرية رابطة التكافؤ والنظرية المدارية الجزيئية تستخدم لوصف الترابط في كل المركبات العضوية وغير العضوية، برز توجه آخر يعتمد أيضا على ميكانيكا الكم ممثلا في «نظرية المجال البلوري» Crystal field theory، بغرض التعامل مع المركبات غير العضوية؛ خاصة المركبات التناسقية Coordination compounds. وكان ذلك على يد الفيزيائي الألماني هانز بيتّه عام ١٩٢٩. وجرى تطبيقها على المتراكبات الفلزية الانتقالية. واتضح أنها مفيدة في تمثيل إلكترونات المدار

(d) في المتراكبات الفلزية؛ ما يسهل فهم ألوانها وخصائصها المغناطيسية وغيرها. وقد ظهر بعض القصور في هذه النظرية؛ لذلك، قام العلماء في الخمسينيّات بدمج محاسنها مع النظرية المدارية الجزيئية، ليخرجوا بنظرية حقل الربيطة Ligand field theory، التي قدمت مساهمة هائلة لتحديث الكيمياء غير العضوية وبعث الحياة فيها من جديد (Cotton *et al.*,1988).

ولم يقتصر دور ميكانيكا الكم على تطوير فهم الكيميائيين للترابط الكيميائي؛ وإنما امتد أيضاً لفهم التفاعلات الكيميائية. وكانت البداية عام ١٩٢٨؛ حين نشر العالمان هايتلر ولنْدن بحثا حول تفاعل ذرة هيدروجين مع جزئ هيدروجين، وأوضحا أن المواد الداخلة في التفاعل لا بد لها أن تتسلق حاجزا طاقياً قبل تحوّلها إلى النواتج المنتظرة. وأوضح الباحثان أن جميع خواص الحاجز الطاقي، مثل الارتفاع والموقع والشكل، متضمنة في معادلة ميكانيكا الكم لطاقة الجهد لمنظومة الذرات الثلاث.

أصبحت هذه المعادلة منطلقا أساسيّا لفهم الكيميائيين لنظرية الحالة الانتقالية Transition state. ونجحت هذه النظرية في تقديم فهم كيفي لمعدلات التفاعلات الكيميائية؛ لكنها كانت أقل حظا في تحقيق هدفها الأساسي، وهو حساب معدلات التفاعلات المطلقة. وقد مهدت هذه النظرية لظهور النظرية الحركية الكيميائية. لكن الإثبات العملي لهذه النظرية الحركية لم يظهر إلا بعد قرابة خمسين عاما. ففي عام ١٩٨٠، تمكنت مجموعة جون پولاني من الحصول على إثبات طيفي لوجود نوع انتقالي في تفاعل الفلور مع الصوديوم. وحصل پولاني مع آخرين على جائزة نوبل في الكيمياء لعام ١٩٨٧ (Moskovits, 1995 b).

نهضت نظرية الحالة الانتقالية بدور مهمّ بالنسبة للتفاعلات التي يحدث فيها انكسار الروابط أو تكونها. لكنها لم تستطع أن تفسر واحدا من التفاعلات الأساسية الذي يشتمل على قفز إلكترون من أيون الى آخر؛ وهي التفاعلات التي تسمّى «تفاعلات الانتقال الإلكتروني». ففي أوائل الخمسينيّات من القرن العشرين، كانت دراسة مثل هذه التفاعلات في أوجها، وتوصّل الباحثون إلى أن انتقال الإلكترونات بين الأيونات الصغيرة يكون في العادة بطيئا؛ لكنه يكون أكثر سرعة بين الأيونات الأكبر حجما.

وقد تمكّن رودلف ماركوس من بلورة نظرية الانتقال الإلكتروني في النظم الكيميائية، وحصل على جائزة نوبل على دراساته النظرية في هذا المجال عام ١٩٩٢ . وأمكن فيما بعد تطبيق نظرية الانتقال الإلكتروني عمليا في مجالات البناء الضوئي Photosynthesis، والمبلمرات الموصلة للكهرباء، والتألق الكيميائي Chemiluminescence، والتآكل، وعلوم الحياة (Isied, 1997).

كان ماركوس واحدا من أوائل الكيميائيين النظريين في وضع نظرياته من دون الاعتماد على الفيزيائيين (Marcus, 1997). ويُلاحظ أن النصف الثاني من القرن العشرين تميز بظهور مجموعة من الكيميائيين النظريين الذين عالجوا بنظرياتهم الكثير من المشكلات الكيميائية، والحياتية، وما يتعلق بعلوم المواد.

ومن الإنجازات المهمّة في مجال الكيمياء النظرية أيضاً ما قام به كل من ولتركُون وجون بوبل، اللذيْن حازا جائزة نوبل في الكيمياء لعام ١٩٩٨، تقديرا لما قدماه في مجال التفاعلات الكيميائية باستخدام الحاسوب. ويتضمن هذا المجال الجديد دراسة تفاعلات افتراضية على الحاسوب، يحدث فيها انكسار لروابط قائمة وولادة لروابط جديدة؛ وتعتمد فرصة تكون الرابطة على موضع الإلكترونات في الذرات المتفاعلة وطاقتها. وقد طوّر كُون طريقة حاسوبية، تعرف باسم نظرية داليّة الكثافة Density-functional theory، يمكن بواسطتها تحديد تركيب الجزئ وصفاته الأخرى؛ إضافة إلى أنها تسهل الحسابات الضرورية. وبدلا من تتبع حركة كل إلكترون في التفاعل المفترض، فإن تكنولوجيا كُون تستخدم ميكانيكا الكم لحساب الكثافة الاجمالية للإلكترونات في الجزئ. ويوجد حاليا برنامج حاسوبي شهير لإجراء مثل هذه الحسابات، طوره جون بوبل، وأُنتج عام ١٩٧٠ باسم «غاوسيان» GAUSIAN. ويَستخدم هذا البرنامج عشرات الآلاف من الكيميائيين في جميع أنحاء العالم لإجراء تفاعلات كيميائية افتراضية Virtual chemical reactions (Kohn, 1995).

وفي عام ١٩٨٧، تمكن أحمد زويل من دراسة الذرات والجزيئات في أثناء التفاعل الكيميائي حين تنكسر الروابط القائمة وتتكون روابط جديدة. وأظهرت الدراسة أن الروابط المتشابهة تنكسر تباعا؛ وليس بشكل متزامن. واستخدم في دراسته كاميرا بالغة

السرعة تعتمد على ومضات الليزر، وتتناسب في سرعتها مع سرعة حدوث التفاعل الكيميائي، الذي يستغرق زمنا يقاس بالفمتوثانية (أي جزء من مليون بليون جزء من الثانية) (زويل، ١٩٩٢).

وتساعد الكيمياء الفمتوية على فهم سبب إمكانية حدوث بعض التفاعلات الكيميائية، وعدم إمكانية حدوث تفاعلات أخرى. ويمكن بواسطتها تفسير سبب تأثر كمية نواتج التفاعل بسرعة التفاعل ودرجات حرارته. وتستخدم تكنولوجيا طيف الفمتوثانية في دراسة تفاعلات الغازات والسوائل والأجسام الصّلبة، وتصوير هذه التفاعلات بالكاميرا الليزرية؛ ومن ثم عرض هذه الصور بالسرعة البطيئة لرؤية الذرات والجزيئات في أثناء تفاعلها مع بعضها بعضا.

وهكذا، يمكن للكيميائيين باستخدام هذه التكنولوجيا رؤية المواد التي تتكون في أثناء التفاعل الكيميائي، ويطلق عليها «المواد البينية»؛ وهي التي تؤدي إلى تكوّن الناتج النهائي. وهذا يوفر فهما دقيقا وعميقا لآليات التفاعلات الكيميائية. وهنا يمكن القول إن حصول زويل على جائزة نوبل عام ١٩٩٩ عن أعماله في هذا المجال شكّل نهاية رحلة بدأها فانت هوف وأرهينيوس في مطلع القرن العشرين.

وقد درس زويل عددا كبيراً من التفاعلات الأساسية ذات الأهمية الصناعية، مثل تفاعلات المركبات العطرية (الأروماتية) مع الهالوجينات، ووجد أن التفاعل منها يتحقّق في ٧٥٠ فمتوثانية. وبعدها انتقل إلى دراسة نوع مهمّ آخر من التفاعلات الكيميائية، هو تفاعل التماكب الضوئي Photoisomerization. وطبق ذلك على جُزيء ستلبين، وتابع أثر الضوء في تحول شكل ستلبين المقرون cis إلى الشكل المفروق trans. ووجد أن حلقتي البنزين تدوران بشكل متزامن من الشكل المقرون إلى المفروق؛ وبالعكس.

وتظهر أهمية هذه الدراسة في أنها تُلقي الضوء على سلوك جزئ رتينال، الذي يُعطي اللون لصبغة الرودوبسين الموجودة في مستقبلات الضوء في شبكية العين. وهذا الجزيء الحساس للضوء يساعد على الرؤية وتمييز الألوان، بتماكبه الضوئي من شكله المقرون الى المفروق؛ ما يؤدي الى إرسال إشارة عصبية للدماغ، لإدراك صور الأشياء. وهذا يفسر أيضاً لماذا لا يمكن رؤية الأشياء في الظلام؛ إذ يكون جزئ الرتينال على

شكله المقرون الذي لا يستطيع إرسال إشارات عصبية للدماغ، أو يرسل إشارات ضعيفة.

وقد انتشرت ثورة الفمتوثانية واستخداماتها في كل مجالات الكيمياء الأساسية والتطبيقية. من ذلك: الدراسات على سطوح المعادن، لفهم دور الوسائط (المحفزات) الكيميائية Catalysts وتحسين أدائها؛ والدراسات على الحالة السائلة والمذيبات، لفهم آليات الإذابة وآليات التفاعلات بين المواد في المحاليل؛ إضافة إلى الدراسات على المبلمرات، لتطوير موادّ جديدة لاستخدامها في مجال الصناعات الإلكترونية. أما مجال البحث المهم الآخر، فيرتكز على دراسات النظم الحيوية على المستوى الجزيئي، وفهم التفاعلات الكيميائية الفائقة السرعة التي تحدث داخل هذه النظم؛ ومن أهمها: التفاعلات التي تؤدي إلى الإصابة بالسرطان أو إلى خلل جيني؛ إضافة إلى تفاعل البناء الضوئي.

إنّ فهم آليات التفاعلات الكيميائية لا يقتصر على وضوح جوانبها النظرية وتكوين فهم أفضل لها؛ وإنما يمتد أيضًا الى زيادة القدرة على التحكم في هذه التفاعلات. ذلك أن أي تفاعل كيميائي يؤدي الى تكون نواتج أساسية؛ إضافة إلى بعض النواتج الجانبية غير المرغوب فيها، التي تؤثر في كمية الناتج الرئيسيّ ومدى نقاوته. ولا شك أن فهم آلية التفاعل والقدرة على التحكم فيها وتوجيهها ستمكن من إنتاج المواد المطلوبة بدرجة عالية من النقاء.

لقد غيرت الكيمياء الفمتوية النظرة إلى التفاعلات الكيميائية: من ظاهرة كانت توصف بشكل مبهم، باستخدام تعبيرات عامة مثل تعبير «التنشيط» و«الحالة الانتقالية»، إلى قدرة على رؤية حركة الذرات والجزيئات. وأدت إلى تطورات هائلة لا يستطيع أحد الآن أن يتكهن بالمدى الذي ستصل اليه (El-Sayed *et al.*,1995).

٤ـ تطور تكنولوجيات التحليل الكيميائي

(Pietrzyk *et al.*,1979 ; Settle, 1997)

ما كان للاكتشافات العلمية في مجال الكيمياء أن تحقق هذا القدر من النجاح خلال

القرن العشرين لولا أنْ صاحبها تقدم هائل في توفير الأدوات والآليات اللازمة لإجراء البحوث؛ خاصة وسائل التحليل الكيميائية والآلية المختلفة. وقد عبر عن ذلك أحد أساتذة الكيمياء في جامعة هارڤرد بقوله: «إذا لم يكن بوسعك قياسه وتحليله، فلن تتمكّن من فهمه أو الحديث عنه. فالكيمياء العضوية، مثلاً، لم يكن لها أن تصل إلى ما وصلت إليه من دون أجهزة طيف الرنين النووي المغناطيسيّ وطيف الكتلة؛ ولم يكن للكيمياء غير العضوية أن تتقدم لولا مساعدة الأشعة السينية في علم البلورات وأجهزة طيف الأشعة فوق البنفسجية. لقد شكلت هذه الأدوات الوسيلة التي تحققت من خلالها النجاحات المختلفة للكيمياء في مجالات علوم الحياة».

ويُعدّ الليزر واحدا من الأدوات المهمّة التي استخدمت في البحث الكيميائي في العشرين عامًا الأخيرة من القرن العشرين. فهو يُستخدم في أجهزة الطيف، وفي التطبيقات الفريدة؛ مثل: التحكم في الجزيئات المنفردة والجسيمات الصغيرة في المحاليل؛ وكذلك تتبع التفاعلات الكيميائية وتوقيتها؛ ودراسة كيفية تكون الروابط الكيميائية وانكسارها؛ وتعرّف الحالات الانتقالية في التفاعلات، والأحداث الكيميائية والحيوية التي تحدث في أثناء حركة الذرات والتي تقاس بالفمتوثانية.

أما طيف الرنين النووي المغناطيسيّ، فهو أداة مهمة في دراسة الظواهر الفيزيائية، مثل: حركيات التفاعلات، والموصلية الفائقة؛ وفي دراسة تركيب الجزيئات العضوية، وعمليات الأيض في جسم الكائن الحي؛ وفي مجال علوم المواد. بدأ استخدام هذه التكنولوجيا في منتصف الخمسينيّات من القرن العشرين، بعد تعرف ظاهرة الانزياح الكيميائي لنوى الهيدروجين حسب موقعها في الجزئ الكيميائي؛ ما يسهل تعرف تركيب هذا الجزئ. وتطوّرت هذه التكنولوجيا لتشمل نوى أخرى، مثل نظير الكربون C-13، وإمكانية استخدامها على العينات السائلة والصّلبة؛ الأمر الذي أدى إلى استخدامها في دراسة تركيب أشباه الموصلات والوسائط الكيميائية والمبلمرات والپروتينات. وحدث تطوّر مهم آخر في السبعينيّات أدى إلى ابتكار تكنولوجيا ثلاثية، وحتى رباعية، الأبعاد. وأدى ذلك الى أول استخدام لهذه التكنولوجيا لتحديد التركيب الثلاثي الأبعاد للپروتين عام ١٩٨٥. وكان ذلك إيذانا بشيوع تكنولوجيا

تصوير الرنين المغناطيسي MRI، التي تشكل طريقة مهمّة في التشخيص الطبي لعدد كبير من الأمراض .

ومن التكنولوجيات المهمة التي قادت الى تطور الكيمياء في القرن العشرين استخدام الأشعة السينية في علم البلورات الذي بدأ، منذ عام ١٩١٢ ، بدراسة بلورات بسيطة مثل الكالسايت ؛ لكنه امتد ليشمل الجزيئات العضوية وتركيب الفيروسات .

إضافة إلى ذلك ، هنالك تكنولوجيا التصوير اللوني (الكروماتوغرافيا)، التي اكتشفت في العقد الأول من القرن العشرين على يد عالم النبات الروسي ميخائيل تسويت ، الذي استخدمها في فصل الكلوروفيل من عصارات نباتية . وقد تطوّرت هذه التكنولوجيا تطورا هائلا ، وأصبح لدينا أنواع مختلفة منها تُستخدم في فصل المكونات الصلبة والسائلة والغازية .

ومن نتاج القرن العشرين تكنولوجيا طيف الكتلة ، التي ساعدت على تحقيق الكثير من الاكتشافات المهمة ؛ مثل : اكتشاف النظائر المشعة ؛ وتحديد الأوزان الذرية بدقة ؛ وتوصيف العناصر الجديدة ؛ والتحليل الكمي للغازات ؛ ووسم النظائر الثابتة ؛ والتعيين السريع للكميات القليلة من الملوثات والعقاقير ؛ وتحديد تركيب الجزيئات الكيميائية . وتطوّرت هذه التكنولوجيا لتصبح أداة مهمة في الدراسات الكيميائية ؛ خاصة بعد أن رُبط مطياف الكتلة بجهاز كروماتوغرافيا الغاز GC-MS، لإجراء التحاليل البيئية وتحاليل الطب الشرعي واختبارات العقاقير والدراسات الصيدلانية .

علاوة على ما تقدم ، ظهرت تكنولوجيات مهمة عدّة ؛ مثل : التحليل الكيميائي الكهربائي باستخدام جهاز الاستقطابية (البولاروغراف) ؛ والمسرى الكهربائي (الإلكترود)، الذي أدى إلى ظهور مقياس الأس الهيدروجيني عام ١٩٢٨ ؛ إضافة إلى تكنولوجيا الرحلان الكهربائي Electrophoresis، والكثير من تكنولوجيات التحليل الكيميائي الكهربائي الأخرى .

وأخيراً، هنالك عدد كبير من أجهزة الطيف المختلفة ؛ مثل : طيف الابتعاث الذري والامتصاص الذري ؛ وطيف الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء ؛ وطيف رامان ؛ وكلّها ساهم مساهمة فعالة في التحليل على المستويين الذري والجزيئي .

٥ـ تعليم الكيمياء في القرن العشرين

لا شك أن تغير الأولويات والاهتمامات في مجال الكيمياء ينعكس على تعليمها ويؤدي الى تقدم هذا التعليم. وكما يقال، فإن الثابت الوحيد في تعليم الكيمياء هو ضرورة التغيير المستمر. وقد كان تعليم الكيمياء وصفيا الى حد كبير. ومع نمو مجالات المعرفة، بدأ تقسيم الكيمياء إلى مجالات مختلفة. وبقي المختصّون في كل فَرْع من فروع الكيمياء على دراية بما يدور في الفروع الأخرى حتى نهاية الثلث الأول من القرن العشرين. لكن تفجر المعارف في كل من هذه الفروع أخذ يباعد بين الكيميائيين، الذين توجهوا أكثر وأكثر الى التخصص في فروعهم المختلفة. وانعكست هذه الأوضاع على كل من برامج الدراسات العليا والمرحلة الجامعية الأولى؛ إذ ورد في تقرير للأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة، تحت عنوان «**إعادة تشكيل الدراسات العليا في العلوم والهندسة**» عام ١٩٩٥، أن برامج الدكتوراة في العلوم والهندسة في الولايات المتحدة يجب أن تؤهّلَ الطلبة لشغل وظائف خارج المجال الأكاديمي. بمعنى آخر، لا بد من زيادة تنوع معرفة الخريج، بدلا من تركيز معرفته في مجالات ضيقة. وأثمر هذا التوجه في مجال الكيمياء، مثلا، عن تزايد أعداد حملة الدكتوراة الذي يتوجهون الى العمل خارج الجامعة. ويستدل من الإحصائيات أن ٣٢,١٪ من حملة الدكتوراة في الولايات المتحدة الأمريكية كانوا يعملون في الجامعات عام ١٩٧٧؛ لكن هذه النسبة انخفضت عام ١٩٩٩ إلى ٢١,٢٪ فقط. بالمقابل، زاد عدد العاملين في مجال الصناعة والأعمال الأخرى من ٤٥,٥٪ عام ١٩٧٧ إلى ٦٠,٩٪ عام ١٩٩١ (75 Years of Education, 1998).

وفي مؤتمر عقدته الجمعية الكيميائية الأمريكية عام ١٩٩٥، وجمع بين أساتذة الجامعات ومسؤولي الصناعات الكيميائية، بهدف بحث أفضل السبل لإعداد طالب الدراسات العليا في مجال الكيمياء، أشار رولاند بريسلو، رئيس الجمعية آنذاك وأستاذ الكيمياء في جامعة كولومبيا، إلى أن الحاضرين أجمعوا على ضرورة أن يجمع الدارس بين تمكّنه من تخصص معين ومعرفة عريضة بالمجالات الأخرى. ويعود السبب، في رأي بريسلو، إلى أن الدكتوراة تعد صاحبها لمهنة يمارسها طوال حياته؛

لذلك، يجب تزويده بكل المهارات التي يحتاج إليها.

أما تدريس الكيمياء في المرحلتين المدرسية والجامعية الأولى، فكان موضع إعادة النظر خلال القرن العشرين؛ سواء طريقة التدريس والمراجع الكيميائية التي يستخدمها الطلاب، أو التوجه للاستفادة من تكنولوجيا المعلومات. ففي المجال الأول، يلاحظ أن طرق التدريس بقيت تقليدية، وأن المراجع كانت وصفية الى درجة كبيرة، تهتم بسرد التفصيلات المجردة وأسماء التفاعلات وظروف حدوثها؛ إلى غير ذلك من المعلومات. لكن تغيرا بدأ يحدث في هذا المجال في معظم دول العالم. ففي الولايات المتحدة، مثلا، تشكلت لجنة وطنية في الستينيّات من ذلك القرن برئاسة الأستاذ غلين سيبورغ، الحائز جائزة نوبل لعام ١٩٥١ ورئيس جامعة كاليفورنيا/ بيركلي آنذاك، جمعت أعضاء من أساتذة الجامعات والمدارس ورجال الصناعة ومراكز البحث العلمي، وخرجت ببرنامج تعليميّ للكيمياء هو برنامج *CHEM Study*، الذي أثر في تدريس الكيمياء في ا لمدارس والكليات (Merrill *et al.*,1969). كذلك، توافر كثير من الكتب المدرسية الشائقة لتدريس الكيمياء، التي هدفت بشكل رئيسيّ إلى تدريب الطالب على التعلم الذاتي وإثارة الأسئلة، تطبيقا للمقولة إنّ الأسئلة الجيدة أهم وأكبر أثرا في التعلم من الإجابات الجيدة؛ كما هدفت إلى ربط الكيمياء بالحياة والعلوم الأخرى.

وهنالك توجه إلى إعادة النظر في نظام تقسيم الكيمياء، الذي ترسخ منذ أكثر من مئة عام، والذي ما زال يُعمل به في معظم الأحيان. ويعتمد هذا النظام على تقسيم الكيمياء إلى فروع، هي: الكيمياء العضوية، وغير العضوية، والتحليلية، والفيزيائية، والحيوية. لكنّ فروعا جديدة للكيمياء ظهرت وترسخت ويصعب تصنيفها تحت واحد من هذه الفروع. من أمثلة ذلك: كيمياء البيئة، وكيمياء الحالة الصّلبة، والكيمياء الكهربائية، وكيمياء الأرض، وكيمياء الفضاء، وكيمياء درجات الحرارة المنخفضة، وكيمياء البلازما، وكيمياء الغذاء، وكيمياء الطب الشرعي، وحوسبة الكيمياء، وتعليم الكيمياء، وكيمياء المبلمرات، والكيمياء النووية، وكيمياء الإشعاع. لذلك، يتكلم الكثيرون عن ضرورة اعادة هيكلة مناهج الكيمياء بما يتناسب مع طبيعة المعارف

الجديدة والمتنوعة (Clark,1999) .

أما التطور النوعي الآخر في مجال تدريس الكيمياء، فيتمثل في التوجه نحو الاستفادة من تكنولوجيا المعلومات. ومن الأمثلة على الاهتمام بهذا التوجه أن المؤسسة الوطنية للعلوم NSF في الولايات المتحدة مولت خمسة مشروعات لتدريس الكيمياء من خلال برامجَ حاسوبية. وقد أنتج عدد كبير من هذه البرامج؛ مثل: *Kin* , *Chem Quest , REACT,Works*. ويشكل برنامج *Chem Quest*، مثلاً، بديلا للكتاب المدرسي؛ ويغطي دراسة الكيمياء لمدة عام كامل. وما على الإنسان إلا أن يتصفح الإنترنت، ليجد مئات أخرى من البرامج التعليمية النظرية والعملية في مختلف فروع الكيمياء. وتجدر الإشارة إلى أن التعليم العالي بدأ يشكل في المجتمعات الصناعية سوقا استثمارية تثير اهتمام رجال المال والأعمال. فالصناعات الصيدلانية، مثلاً، تستثمر ٢٣٪ تقريبا من أرباحها في البحث والتطوير، وتستثمر الصناعات الكبيرة الأخرى ١٠٪ تقريبا من الأرباح لأهداف التطوير. لكن الاستثمار في تطوير التعليم لا يتجاوز ١ ,٠٪ من موازناته؛ وهي نسبة ضئيلة (Dolence *et al*.,1995) . وقد بدأت شركات تكنولوجيا المعلومات تهتم بهذا المجال وتستثمر فيه. وسوف يكون لذلك تأثير كبير على مجريات التعليم بمستوياته المختلفة في المستقبل. ويذهب البعض إلى الاعتقاد بأن مباني الجامعات الضخمة سوف تتحول مع نهاية الربع الأول من القرن الحادي والعشرين إلى أطلال لعدم الحاجة إليها، وأن الجامعات التي تستثمر في توفير مواد التعليم المرتكزة على تكنولوجيا المعلومات ستكون في موقع القيادة خلاله.

لقد واجه تدريس الكيمياء في القرن العشرين تحديا مهماً، يتمثل في طبيعة نظرة المجتمع إلى هذا العلم. فبعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، حدث في الغرب بشكل عام ردة فعل سلبية تجاه دراسة الكيمياء. وكان السبب في ذلك الدور السلبي الذي نهضت به الكيمياء في الحروب، وظهور الأسلحة الكيميائية، واستخدامها من طرف البعض. علاوة على ذلك، بدأت في الغرب صحوة بيئية؛ وتحملت الصناعات الكيميائية، ظلما أو عدلا، الجزء الأكبر من المسؤولية عن تلوث البيئة. فَعُدّت الصناعات الكيميائية مسؤولة عن ثقوب الأوزون ذات التأثيرات السلبية على صحة الناس، والمطر

الحَمْضي الذي قضى على مساحات شاسعة من الغابات في أوروبا وأمريكا الشمالية، والاحتباس الحراري الذي كان له آثار واضحة على الأحوال الجوية وتلوث مياه الأنهار والبحيرات. ونتيجة لذلك، سعت الصناعات الكيميائية الى العمل على تقليل الملوثات إلتي تطلقها في البيئة المحيطة، وأصبح الحفاظ على سلامة البيئة شرطا ملزما لهذه الصناعات. وتحقق الكثير في هذا المجال من خلال الاتفاقات الدولية، التي كانت آخرها اتفاقية كيوتو؛ إضافة إلى التشريعات الوطنية؛ ما أدى إلى تحسين صورة الكيمياء في نظر أفراد المجتمع، وظهور ما يعرف باسم "الكيمياء الخضراء".

٦ـ ماذا عن المستقبل؟

أوضحنا فيما سبق بعض الإنجازات المهمة التي حققها علماء الكيمياء في القرن العشرين. ونتساءل: هل بقي في خيالهم من مزيد؟ والجواب: نعم؛ إذ يُعتقد أن من أولى مسؤوليات الكيمياء وأهدافها تحسين نوعية حياة الإنسان والمساهمة الفعالة في حل مشكلاته. لذلك، سيتركز البحث الكيميائي على توفير الغذاء والدواء والطاقة والمواد الجديدة، وتحسين البيئة، والمساهمة في تقدم علوم الحياة الجزيئية والذكاء الاصطناعي والحاسوب الكيميائي، وغير ذلك كثير. ففي مجال توفير الغذاء والدواء، سوف يلجأ الكيميائيون إلى الطرق الكيميائية وهندسة الجينات. فعن طريق حوسبة الكيمياء التوافيقية وأتمتتها، مثلا، سيكون بالإمكان اصطناع عدد غير محدود من العقاقير النوعية؛ وعن طريق رسم الخريطة الجينية للإنسان، سوف يتقدم العلاج الجيني ويصبح بالإمكان الكشف المبكر عن الأمراض المحتملة التي ستصيب الإنسان. وفي مجال الطاقة، ومع الاعتقاد بأن مصادر الطاقة غير المتجددة مثل النفط والغاز والفحم سوف تنضب خلال عقود من الزمن، لا بد من تطوير تكنولوجيا جديدة لتوفير الطاقة من مصادر متجددة غير قابلة للنضوب، من أهمها الطاقة الشمسية. ولتحقيق ذلك، لا بد من فهم كامل لآلية تفاعلات البناء الضوئي ومحاكاتها أو تسريعها. ويُقدّر أن الإنسان يحتاج حاليا إلى استهلاك محصول ١١٪ من المساحة المزروعة في العالم لإنتاج ما يلزمه من طاقة. فإن أمكن التحكم في سرعة تفاعلات البناء الضوئي، ستزيد

سرعة الإنتاج، وستخفض المساحة المزروعة التي ستفي بحاجة الإنسان من الطاقة إلى ٢٪ فقط من المساحة الكلية؛ ما سيوفر مساحات هائلة من الأرض الزراعية لإنتاج الغذاء. وفي مجال الطاقة أيضا، يعمل العلماء على ابتكار تكنولوجيات جديدة قادرة على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية، يمكن تخزينها ونقلها واستخدامها في كل وقت. ومن أهم أشكال هذه الطاقة الكيميائية الهيدروجين، الذي سيكون فحم المستقبل ونفطه. أما في مجال علوم المواد، فسوف يبتكر الكيميائيون موادّ جديدة لاستخدامات نوعية حسب الطلب؛ وسوف تنمو صناعة الإلكترونيات العضوية المبنية على أساس الإلكترونيات الجزيئية؛ وسيكون بالإمكان إنتاج أسلاك من المواد العضوية؛ إضافة الى التجهيزات الإلكترونية الأخرى. وهنالك تطبيقات مهمّة لعلوم المواد والبحوث الطبية. ومن أمثلة ذلك البحوث الجارية على «الدندريمرات» Dendrimers؛ وهي المبلمرات الموصلة للكهرباء. مثل هذه المبلمرات سوف تستخدم في نظم توصيل العقاقير الجديدة؛ وفي تكوين أنسجة جديدة، مثل الجلد والأعصاب.

وفي مجال البيئة، سوف يزداد التوجه لأن تُستبدل بالكيمياء التقليدية الكيمياء الخضراء، التي تحمي البيئة وتحافظ عليها. وفي هذا المجال، يعتقد الكيميائيون أن خامات المستقبل الصناعية سوف تعتمد إلى حد كبير على تدوير المواد القابلة لذلك، واستخدام الفضلات المنزلية والصناعية والمياه الملوثة. لكن تحقيق هذا يتطلب تكنولوجيات جديدة.

ومن أهداف الكيمياء المستقبلية تحقيق تقدم في مجال كيمياء الأعصاب، ليمكنَ التوصل إلى فهم أفضل لوظائف الدماغ، وطبيعة الذاكرة، وآلية تخزين المعلومات فيه. وسيكون بالإمكان التدخل بشكل بناء في علاج مشكلات الإدمان، وفقدان الشهية، والغضب، والخوف، والإجهاد، والذكاء، وضعف القدرة على التعلم. ومن المجالات التي تهدف الكيمياء إلى تحقيق فهم أفضل لها على المستوى الجزيئي مجال النوم، الذي قد يؤدي التحكم فيه إلى زيادة عمر الإنسان الإنتاجي، بدلا من زيادة عمره الزمني.

وكما كانت الكيمياء خلاّقة ومبدعة في لقائها بعلوم أخرى كثيرة، كذلك الأمر بالنسبة للقائها بالحاسوب وعمليات الحوسبة. فعلاوة على البرامج التعليمية المتعددة، هنالك البرامج البحثية وبرامج الواقع الافتراضي. ويتحدث البعض عن الحاسوب الكيميائي الذي يتميز بطاقة ذاكرة هائلة؛ وهم في هذا يتطلعون إلى إنتاج «الدماغ الاصطناعي» Artificial brain. أما استخدام الرقاقات المنمنمة Microchips في عمليات التحليل والاصطناع الكيميائي، فقد أصبح حقيقة واقعة؛ وسيكون لها دور كبير في مستقبل الكيمياء. وقد بدأ عدد كبير من الشركات في الإعداد لإنتاج ما يسمى مختبر على رقاقة Lab-on-a chip. وسوف تكون الصناعات الدوائية من أوائل الصناعات المستفيدة من هذه التكنولوجيا؛ إضافة الى تشخيص الدنا والجينات. ولا شك أن مثل هذه التكنولوجيا سوف تتميز بالأداء العالي؛ إضافة إلى إمكانية تحليل كميات نزرة من المواد المطلوب تحليلها، و إمكانية أتمتة الأداء وزيادة الدقة. وسوف يصبح بالإمكان استخدام مثل هذه النظم في الاصطناع التوافيقي، والتحاليل البيئية، ومراقبة التحاليل الحيوية المتميزة، وغير ذلك.

من الناحية التقنية، فإن هذا التوجه سوف يتيح الفرصة لاندماج الكيمياء مع الميكانيكا والإلكترونيات والضوئيات؛ إضافة إلى إمكانية ربط نظم عدة للتحليل مع بعضها بعضاً في حيز صغير. وسيكون حجم هذا المختبر في حجم حاسبة الجيب؛ ما يمكنه من إجراء التحاليل في أي مكان (Freemantle, 1999).

ويتوقع علماء الكيمياء أن يكون مستقبل هذا العلم مشرقا، إذا توافرت الأموال اللازمة للبحث والتطوير. وهم يعتقدون أن جُزءا كبيرا من مستقبل الإنسان سوف يعتمد على ما تحققه الكيمياء من تقدم، بتوفيرها جزيئات جديدة لم يعرفها الإنسان من قبل، ووسائط جديدة لإجراء تفاعلات مفيدة (Baum, 1998).

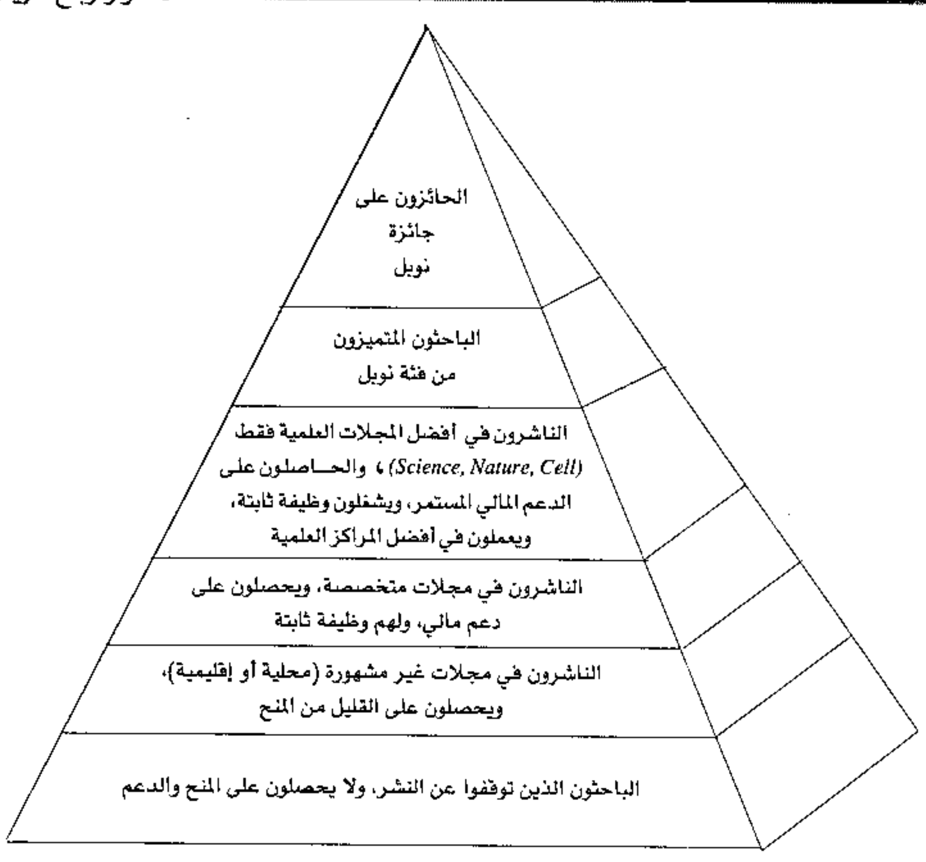
والآن لنا أن نتساءل: هل هذا كل ما نتوقعه من إنجازات مستقبلية؟ يجيب عن هذا التساؤل السير جون مادوكس، أستاذ الفيزياء ورئيس تحرير مجلة *Nature* الأسبق، بقوله: «قد تكون أهم الاكتشافات في الخمسين عاما القادمة هي تلك التي لا نستطيع أنْ نتخيّلها الآن».

٧ـ أين نحن من هذا كله؟

ويبقى تساؤل أخير: أين يقف العلميّون العرب من هذا كله؟ إن دور الكيميائيين العرب في القرن العشرين لا يختلف عن دور أقرانهم العرب في المجالات العلمية الأخرى؛ وهو دور يكاد لا يُذكر. فالمنظومة البحثية العربية على مستواها الإقليمي أو القومي لا تملك الإمكانات اللازمة لتحقيق إنجازات علمية مهمة لأسباب عدة. أولها: أن هذه المنظومة تفتقر الى أهم دعائم البحث العلمي، وهو التمويل؛ إذ لا يخفى أن معدل الإنفاق على البحث العلمي في الوطن العربي مع نهاية القرن العشرين لا يتجاوز ١٥, ٠٪ من الناتج المحلي الإجمالي، وهي نسبة متدنية إذا قيست بمثيلتها في الدول المتقدمة التي تتراوح من ٢ـ٣٪. إن مجموع موازنات البحث العلمي في الجامعات العربية مجتمعة، ويصل عددها إلى ٥٧١ جامعة تقريبا، أقل من مثيله في جامعة واحدة من الجامعات المعروفة بنشاطها البحثي المتقدم، في الولايات المتحدة مثلاً. ومن الطبيعي أن تدني مُدخلات الانفاق على البحث العلمي في الوطن العربي يؤدي بالضرورة إلى ضعف مُخرجاته.

أما السبب الثاني، فهو أن الاختراقات العلمية لم تعد وليدة جهد فردي؛ بل هي محصلة ما يسمى الكتلة الحرجة Critical mass لما ينتجه مجتمع العلماء في بلد ما. ذلك أن تداخل العلوم فيما يسمى العلم الكبير، وقيام المدارس والمجموعات البحثية الكبيرة، هما الكفيلان بتحقيق مثل هذه الاختراقات. وهكذا، فإن التخلف العلمي العربي ليس وراثيا (جينيا)؛ لكنه وليد غياب المجتمع العلمي في العالم العربي. فإذا عرفنا أن معهد كاليفورنيا التكنولوجي أعطى لوحده ٢٦ من حملة جائزة نوبل في العلوم في القرن العشرين، أدركنا أهمية المجتمع العلمي الذي أشرنا إليه.

وإذا أردنا تَعرُّفَ مستوى البحث العلمي في مجال الكيمياء، أو أي مجال علمي آخر، فما علينا سوى الاستعانة بنظام القياس المعمول به دوليا. ويعتمد هذا النظام على تقسيم البحث العلمي في أي مجال الى ستة مستويات تشكل في مجموعها هرما متكاملا (أنظر الشكل). ويتربع في المستوى الأول على رأس الهرم أولئك الذين يحصلون على جائزة نوبل في مجال بحوثهم. ويشغل المستوى الثاني العلماء ممن قدموا أعمالا من مستوى جائزة نوبل؛ لكنهم لسبب أو لآخر لم يحصلوا عليها.



تقسيم مستوى الباحثين في العالم إلى ست مجموعات حسب إنتاجهم.

أما المستوى الثالث، فيشغله الباحثون الذي ينشرون بحوثهم في أرقى المجلات العلمية فقط، والذين يحصلون على دعم مستمر لمشروعاتهم البحثية من جهات مختلفة، ويشغلون مراكز بحثية مرموقة في جامعات معروفة.

ويشغل المستوى الرابع الباحثون الناشرون في مجلات متخصصة، ويحصلون على دعم مالي معقول لإجراء بحوثهم، ولهم وظائف ثابتة في الجامعات أو مراكز البحث. وفي المستوى الخامس يوجد الباحثون الذين ينشرون في مجلات محلية أو إقليمية، ولا يحصلون إلا على القليل من الدعم المالي لبحوثهم. أما المستوى السادس، فيشغله أولئك الذين لا ينشرون بحوثا؛ أو أنهم توقفوا عن النشر، ولا يحصلون على دعم مالي لإجراء البحوث.

وبتطبيق هذه المقاييس، يُلاحَظ أن العلميّين العرب المقيمين في الوطن العربي يتوزعون بين المستويات الثلاثة الأخيرة؛ وهم بذلك يقدمون أكثر ما يمكن أن تسمح به ظروفهم وإمكاناتهم. وهكذا، يبقى عطاؤهم محدودا ولا ينتمي الى البحث العلمي الذي يؤدي الى اختراقات كبرى ويأتي بنظريات جديدة، أو يؤدّي إلى تطبيقات تكنولوجية فريدة.

ويمكن لنا أن نتأكّد من سلامة المقياس الهرمي الذي أشرنا إليه إذا علمنا أن ١٣٥ عالماً حصلوا على جائزة نوبل في الكيمياء خلال القرن العشرين (١٩٠١-٢٠٠٠) توزّعوا على جنسيات مختلفة على النحو الآتي:

٤٨ الولايات المتحدة (٣ منهم فقط قبل الحرب العالمية الثانية)

٢٦ ألمانيا (معظمهم قبل الحرب العالمية الثانية)

٢٥ بريطانيا (معظمهم بعد الحرب العالمية الثانية)

٧ فرنسا

٥ السويد

٥ سويسرا

٣ هولندا

٣ كندا

٢ اليابان

٨ (واحدة لكل من: الأرجنتين؛ النمسا؛ بلجيكا؛ تشيكوسلوفاكيا؛ الدنمارك؛ فنلندا؛ إيطاليا؛ النرويج؛ روسيا).

وتؤكّد هذه الإحصائية صحة الإدعاء بأنّ العنصرين اللّذين يؤثران على نهوض البحث العلمي ومستواه هما: «الكتلة العلمية الحرجة»، والسخاء في الإنفاق. وهو ما يتضح من الأرقام السابقة؛ إذ حصل ٤٥ عالماً أمريكياً على جائزة نوبل بعد الحرب العالمية الثانية. وهي الفترة التي تنامى اهتمام الولايات المتحدة بالبحث العلمي إلى أن بلغ ما تنفقه على هذا المجال حالياً حوالي ٤٠٪ مما ينفقه العالم بأكمله.

المراجع

١ـ بيغ، E.C، M.W كارسون، . A.J مونتغومري، ١٩٩٤ . عقاقير تُصَمَّم حسب الطلب، مجلة **العلوم**، مجلد ١٠، عدد ٣، ص٤٢ ـ ٤٧ .

٢ـ طوقان، قدري، ١٩٥٦، **العلوم عند العرب**، إدارة الثقافة العامة بوزارة التربية والتعليم، مصر .

٣ـ مرحبا، محمد عبد الرحمن، ١٩٧٨، **المرجع في تاريخ العلوم عند العرب**، دار العودة، بيروت .

٤ـ زويل، أحمد، ١٩٩٢، ولادة الجزيئات، مجلة **العلوم**، مجلد ٨، عدد ٩، ص ٦٠ـ٦٥ .

٥ـ غرين، C.W ، ١٩٩٥، الإيدز والجهاز المناعي، مجلة **العلوم**، مجلد ١١، عدد ١٠، ص ٦٥ـ٧٣ .

٦ـ الريس، نزار وفايزة الخرافي، ١٩٨٦، **الحرب الكيميائية**، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، الكويت .

7. Albert, B., D. Bay, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, and J.O. Watson (editors), 1995, *Molecular Biology of the Cell*, Garland Publishers, New York .
8. Ambruster, P. and Fritz Peter Hessberger, 1998, Making New Elements, *Scientific American* : 14(9), 72-76 .
9. Asimov, Isaac, 1993, *Understanding Physics*: Vol. 3, Barnes and Noble Books, New York .
10. Baum, Rudy M., 1998, Chemistry's Golden Age, C & EN: Chemical and *Engineering News* : 76 (2), 143 - 151.
11. Borman, Stu, 1999, Combinatorial Chemistry, *ibid*:77 (10) 33-39
12. Charles, P., Horacio A. Farah, and Richard J. Creswick , 1996, *Superconductivity*, Academic Press, New York.
13. Clark, Roy W. , 1999, The Structure of Chemistry, *Journal of Chemical Education* : 76 (12), 1612 .
14. Cotton, F. Albert and G. Willkinson, 1988, *Advanced Inorganic Chemistry*, Wiley, New York.
15. Crendal, B.C, 1997, *Nanotechnology: Molecular Speculations on Global Abundance*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
16. Dolence M.G. and D.M Norris,1995, *Transforming Higher Education: A Vision for Learning in the 21st Century*, Society for College and University Planning, Ann Arbor.

17. Dresselhaus, M.S., G. Dresselhaus, and P.C. Eklund, (editors), 1996, *Science of Fullerenes and Carbonnanotubes*, Academic Press, New York.

18. El-Sayed, Mustafa (editor), I. Tanaka, and Lu.N. Molin, 1995, *Ultrafast Processes in Chemistry and Photobiology* (Chemistry in the 21st Century Monographs), Blackwell Science Inc., Oxford.

19. *Encyclopedia Britannica*, Britannica CD,1999, Multimedia Edition.

20. Epiotis, N.D., 1982. *Lecture Notes in Chemistry : Unified Valence Bond Theory of Electronic Structure*, Springer -Verlag, Berlin.

21. Ewen, J.A., 1997, New Chemical Tools to Create Plastics, *Scientific American*: 279 (5), 12-17.

22. Flory, P.J., 1953, *Principles of Polymer Chemistry*, Cornell University Press, New York.

23. Freemantle, Michael, 1999, Downsizing Chemistry, *Chemistry and Engineering News*: 77 (8), 27-36.

24. Greenaway, F., 1966, *John Dalton and the Atom*, Heinemann, London.

25. Heikkinen, Henry (chief editor), 1988, *Chem Com : Chemistry in the Community*, American Chemical Society, Kendal Hunt Publishing Co., Iowa.

26. Ihde, A.J. 1964, *The Development of Modern Chemistry*, Harper and Row, New York.

27. Isied, S.S., 1997, *Electron Transfer Reactions: Inorganic, Organometallic and Biological Applications*, Oxford University Press, Toronto.

28. Jensen, J.C., M. Stocker, H.G. Kange, and J. Weit Kamp, 1994, *Advanced Zeolite Science and Applications*, Elsevier Science, New York.

29. Kohn, Walter, 1995, Density Functional Theory of Systems of Very Many Atoms, *Proceedings of the 1994 Satellite Symposium on "Thirty Years of Density Functional Theory"*, Wiley, New York.

30. Liberlies, Arno, 1970, *Introduction to Theoretical Organic Chemistry*, MacMillan, New York.

31. Lin, Shu-Kun, 1998, Obituary : Professor Sir Derek H.R.Barton, *Molecules*: 3, 132 - 134.

32. Marcus, R.A., 1997, Electron Transfer Reactions in Chemistry: Theory and Experiment (Nobel Lecture). *The Nobel Lectures in Chemistry 1991- 1995*, World Scientific Press, New Jersey, pp. 61-65.

33. Merril, R.J. and Ridgway D.W., 1969, *The CHEM Study Story*, Freeman, San Francisco.

34. Moskovits, M. (editor) 1995, in, *Science and Society: The John C. Polanyi Nobel Laureates Lectures*, Annansi, New York, (a) p. 69; (b) p. 3.

35. Oganessian, Y.Ts., V.K. Utyonkov, and K.J. Moody, 2000, Voyage to Superheavy Island, *Scientific American*: 282(4), 63-67.

36. Partington, J.R., 1961-1970. *A Histroy of Chemistry*, 4 Vols., MacMillan, London.

37. Pasachoff, N., 1996, *Marie Curie and the Science of Radioactivity*, Oxford University Press, Toronto.

38. Pauling, L. and E. Bright Wilson (Jr.), 1985, *Introduction to Quantum Mechanics with Applications to Chemistry* (Reprint), Dover Books, New York.

39. Pietrzyk, Donald J., and Clyde W. Frank, 1979, *Analytical Chemistry*, Academic Press, New York.

40. Plunkett, M.J. and Jonathan A. Ellman, 1997, Combinatorial Chemistry and New Drugs, *Scientific American*: 279 (7), 4-8.

41. Read, M.A. and J.M. Tour, 2000, Computing with Molecules, *www.scientificamerican.com*, June, 1-14.

42. Schnu, J.M., 1993, Lipid Tubules: A Paradigm for 43 Molecularly Engineered Structures, *Science*: 12,1669-1673

43. Settle, Frank A. (editor), 1997, *Handbook of Instrumental Techniques for Analytical Chemistry*, Prentice Hall, New York.

44. Szabo, Attila and Neil S. Ostland, 1996, *Modern Quantum Chemistry: Introduction to Advanced Electronic Structure Theory*, Dover Publications, New York.

45. Van Spronsen, J.W., 1969, *The Periodic System of Chemical Elements : A History of the First Hundred Years*, Elsevier, Amsterdam.

46. 75 Years of Education, *Chemical and Engineering News*, 1998, 75th Anniversary Issue, 76(2), 111.

47. Zewail, Ahmed H., 1994, *Femtochemistry : Ultrafast Dynamics of the Chemical Bond* (World Scientific Series in 20th Century Chemistry), World Scientific Publishing, Singapore.

48. Zimmerman, B.E. and Zimmerman, David J, 1995, *Nature's Curiosity Shop*, Contemporary Books, Chicago.

مراجع إضافيّة

1. Barrow, G.M., 1988, *Physical Chemistry*, McGraw-Hill, New York.
2. Brody, D.E. and Arnold R. Broy, 1997. *The Science Class You Wish You Had*, Part 2, pp. 51-84, 337-351, The Berkley Publishing Group, New York.
3. Caglioti, L., 1983. *The Two Faces of Chemistry*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
4. *Chemical and Engineering News*, 1998, 75th Anniversary Special Issue; 76(2), 1-224.
5. *Chemical and Engineering News*, 1999, Millenium Special Report, Chemistry in the Service of Humanity: 77(49), 43-134.
6. Gordon, E.M. and James F. Kerwin, Jr. 1998, *Combinatorial Chemistry and Molecular Diversity in Drug Discovery*, Wiley-Liss, New York.
7. Jaffe, B., 1976, *Crucibles : The Story of Chemistry from Ancient Alchemy to Nuclear Fission*, Dover, New York.(*)
8. Jensen, F., 1998, *An Introduction to Computational Chemistry*, Wiley, New York.
9. March, J., 1992. *Advanced Organic Chemistry: Reactions, Mechanisms and Structure*, Wiley, New York.

(*) النّاشر الأصليّ : Simon and Schuster؛ ١٩٣٠، ١٩٤٢، ١٩٤٨ . وتوجد ترجمة عربيّة رفيعة المستوى لهذا الكتاب بعنوان :

بواتق وأنابيق : قصة الكيمياء

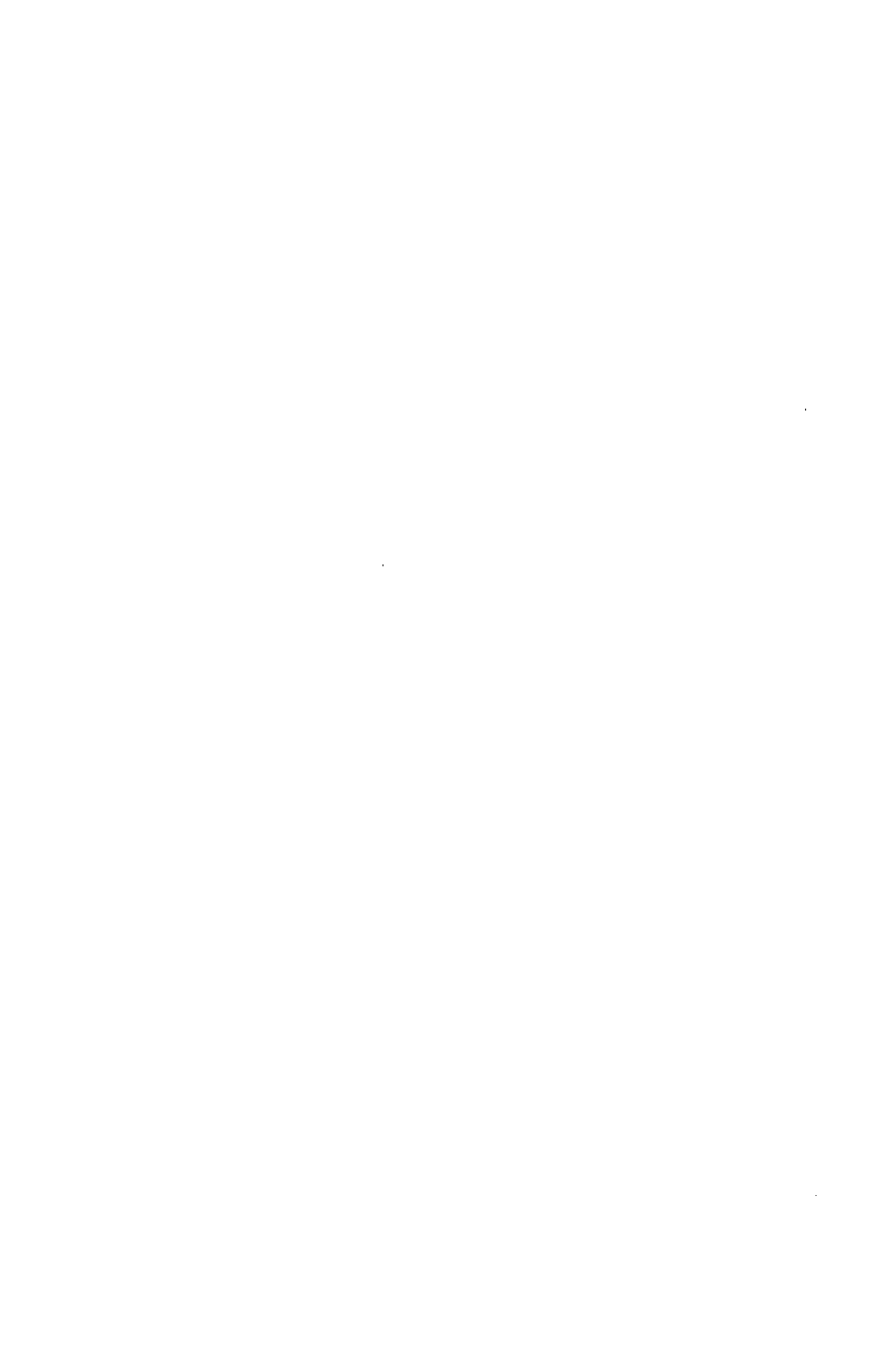
تأليف : برنارد جافي؛ ترجمة : الدكتور أحمد زكي؛ مكتبة النهضة المصرية، القاهرة؛ بالاشتراك مع مؤسسة فرانكلين للطباعة والنشر، القاهرة-نيويورك؛ ط١، آيّار/ مايو ١٩٥٦؛ ط٢، شباط/ فبراير ١٩٦٠ . **(المحرر)**

10. Parascandola, J. and James C. Whorton (editors), 1983, *Chemistry and Modern Society*, ACS Symposium Series 228, ACS, Washington, DC.

11. Reese, K. (editor), 1976. *A Century of Chemistry : The Role of Chemists and the American Chemical Society*, ACS, Washington, DC, pp. 342-344 .

12. Russel, C.A., 1971, *The History of Valency*, Leicester U.P., Leicester, pp. 276 and 287.

13. Russel, C.A., 1985, *Recent Developments in the History of Chemistry*, The Royal Society of Chemistry, Burlington House, London.



الفصل السادس

المعلوماتيّة

د. نبيل علي



المعلوماتيّة

الدكتور نبيل علي

المحتويات



مقدّمة

اتسع نطاق المعلوماتية وتفرّعت مجالاتها وانصهرت تطبيقاتها في كيان المجتمع الإنساني. وأصبحت تكنولوجيا المعلومات (ت. م.) بلا شك هي «التكنولوجيا الأم» أو «تكنولوجيا التكنولوجيات»، إن جاز التعبير؛ فقد غدت قاسمًا مشتركًا بين جميع الفروع التكنولوجية الأخرى: من التكنولوجيا العسكرية إلى تكنولوجيا التعليم؛ ومن الهندسة الوراثيّة إلى صناعة الثّقافة.

وعلاوةً على أنها عنصرٌ أساسي يدعم كل التكنولوجيات الأخرى، تنفرد «ت. م.» بأنها صناعة قائمة بذاتها من نوع فريد؛ سواء من حيث طبيعة المادة الخام (البيانات والمعلومات) التي تتعامل معها، أو طابع السّلع والخدمات التي تنتجها، أو نوعية الآلات والأدوات الرئيسية المستخدمة في إنتاج هذه السلع والخدمات.

تسعى الدراسة الحالية إلى عرض صورة عامّة لتطور المعلوماتية منذ ظهور الحاسوب؛ ممثّلة في مجموعة من التوجّهات الرئيسية والنقلات النّوعية التي طرأت على الجوانب المختلفة لمنظومة المعلوماتية، التي قُسّمت ـ وفقًا لما هو معهودٌ ـ إلى المجالات الرئيسية الآتية:

١. عتاد الحاسوب Computer hardware؛ ويشمل وحدة المعالجة المركزية Central processing unit، ووسائل إدخال البيانات وإخراجها Input / output devices.

٢. شبكات نقل البيانات Data communication networks.

٣. تكنولوجيا البرمجيات Software technology.

٤. تطبيقات المعلوماتية Informatics applications.

أوّلاً : عتاد الحاسوب

١:١ وحدة المعالجة المركزيّة

١:١:١ تطوّر عنصر البناء الرئيسي لعتاد الحاسوب

تحتل وحدة المعالجة المركزية موضع القلب في منظومة عتاد الحاسوب. وسيتركز الحديث في شأنها حول عنصر بنائها الرئيسيّ Basic building block، ومعماريّة بنائها.

يدين عتاد الحاسوب لعنصر البناء الرئيسي بقدراته ومستوى أدائه، وبسرعة تطوّره، وما نجم عن هذا التطور من إنجازات تقنية باهرة. يلخّص الشكل (١) مسار تطوّر عنصر البناء الرئيسيّ، الذي شهد نقلتيْن نوعيتين رئيسيتيْن: كانت أولاهما النقلة من استخدام العناصر الميكانيكية إلى العناصر الإلكترونية؛ في حين تتمثل النقلة الثانية، التي توشكُ أن تحدث، في الانتقال من العناصر الإلكترونية إلى العناصر البيولوجية.

عناصر بيولوجية		عناصر إلكترونية				عناصر ميكانيكية
?	سيليكون Biosilicon	دارات متكاملة فائقة الكثافة VLSI	دارة متكاملة Integrated circuit	ترانزستور Transistor	صِمَام مفرغ Vacuum valve	عناصر ميكانيكية Mechanical elements

الشكل (١) : مسار تطور عنصر البناء الرئيسي لعتاد الحاسوب.

أ. **النقلة النوعية من العناصر الميكانيكيّة إلى العناصر الإلكترونيّة:** بعد أن نجح الإنسان في صنع آلتَيْه البخارية والكهربائية لتنوبا عنه «عضليّاً»، سعى إلى بناء آلة تُخفّف عنه «ذهنيّاً». وقد شهد القرن التاسع عشر محاولات عدّة لبناء آلة حاسبة تعمل بعناصر ميكانيكية من التُّروس والرّوافع وما شابهها. إلا أنّ هذه المحاولات لم

تُكلَّل بالنّجاح لعدم توافر الأسس العلمية؛ وربُما ـ أيضًا ـ بسبب التّناقض الجوْهريّ بين ميكانيكية تلك العناصر وصلابتها من جهة، ورهافة المعلومات وسُيولتها المتدفقة من جهة أخرى. وما إن توافرت الأسُسُ العلمية والوسيلة التكنولوجية المناسبة لبناء تلك الآلة الحاسبة، حتى تحقّق الحُلم المنتظرُ في نهاية أربعينيات القرن المنصرم، وخرج إلى الوجود الحاسوب الرقميُّ Digital computer ثمرة لالتقاء علوم الفيزياء والرياضيات المنطقية والهندسة الإلكترونية. وقد أدى ذلك بدوره إلى ثورة تكنولوجيا المعلومات؛ صنيعة الامتزاج الخصب لثلاثية عتاد الحاسوب Hardware، والبرمجيّات Software، وشبكات الاتصالات Communication networks. وعلى مدى نصف قرن، ارتقت هذه التكنولوجيا بصورة غير مسبوقة، عبر سلسلة من النّقلات النوعية، لتتوالى أجيال تكنولوجيا المعلومات ويتسارع معدّل ظهورها وانقراضها. ويُرمز إلى هذه الأجيال عادة بالأجيال الأربعة. ويتّضح مما يأتي أنّ الفيصل فيها كان التغيّر الذي طرأ على عنصر البناء الرئيسيّ المستخدم في بناء كُلٍّ من وحدة المعالجة المركزية والذاكرة.

الجيل الأوّل (١٩٤٨): استُخدم الصِّمَام الإلكتروني المُفرغ Vacuum electronic valve وحدة البناء الرئيسية لتطوير حواسيبَ ضخمة يقدّر وزنها بالأطنان، وتشغل صالات واسعة، وتستهلك طاقة كهربائية عالية.

الجيل الثاني (١٩٥٨): حلّ الترانزستور Transistor محلّ الصّمام الإلكتروني، ليصبح الحاسوب أصغر وأكفأ وأسرع، ويقل إلى حدّ كبير معدل استهلاكه للطاقة الكهربائيّة. وهكذا، بدأت الإلكترونيّات الميكروية Microelectronics رحلتها المثيرة غير المسبوقة في عالم التكنولوجيا.

الجيل الثّالث (١٩٦٤): بدأ استخدام رقائق الدارات المتكاملة Integrated circuits، وأصبحت رقيقة (كسرة) Chip سيليكون واحدة تقوم مقام الكثير من وحدات الترانزستور والعناصر الإلكترونية الأخرى من المقاومات والمواسعات وغيرها، التي اندمجت بصورة مكثفة ومتكاملة داخل البنية البلّورية للرقيقة المذكورة. ومع زيادة رَهَافة المكونات الإلكترونية، انخفض معدل استهلاكها للطاقة الكهربائية إلى حدّ كبير؛ الأمر الذي أمكن معه الاستغناءُ عن الأسلاك (أو الموصّلات الفلزيّة) التي

تربط بين هذه المكوّنات، لتحلّ محلّها خطوط رفيعة للغاية من النُّحاس يجري تخليقُها، أو طبعها، بطرق كهْركيميائيّة في الغالب على ألواح الدّارات المطبوعة Printed circuits.

الجيل الرابع (١٩٨٢): بشكل عام، لا يختلف هذا الجيل عن سابقه إلاّ في كثافة العناصر الإلكترونية التي أمكن دمْجها في رقيقة السيليكون؛ وبلغت عام ١٩٨٤ خمسين ألف وحدة أولية Bit في الرّقيقة الواحدة. وقد اصطلح على تسميتها «الدارات المتكاملة الفائقة الكثافة Very Large Scale Integrated Circuits (VLSI)». وتحقّق ذلك بفضل استخدام مواد جديدة ووسائل مبتكرة في تصميم هذه العناصر وتصنيعها وضبط جودة إنتاجها.

لقد ساد القُطْب الأمريكيّ صناعة الحاسوب عبر هذه الأجيال الأربعة من عتاده، التي وفّرت طاقةً حسابيّةً هائلة لم تتمكن البرامج من استغلالها. وظلّت الهوة تتسع بين إمكانات العتاد وقدرة البرمجيات، التي لا تزال حرْفةً لم تخضع بعدُ للضبط المنهجيّ الدقيق. وكانت تلك هي الفجوة التي حاول القُطْب اليابانيُّ النفاذ منها ليفرض هيمنته على تكنولوجيا المعلومات. وجاء الاعتداء الياباني ـ كما وصفه البعض ممَّنْ أصابهم الفزَع في الولايات المتحدة وأوروبا ـ في صورة مشروع طموح مدته عشر سنوات (١٩٨٢ـ١٩٩٢)، أطلق عليه اسم مشروع «الجيل الخامس»، وتبوأت فيه البرمجيات Software موضع الصّدارة؛ ليتوارى العتاد Hardware خلفها بصفته أداةً تحقّقها، لا العنصر الحاكم الذي يفرض عليها خصائصه وقيوده. لم يُكتبْ لمشروع الجيل الخامس النجاح بسبب الضغوط الهائلة التي مارستها الترسانة الأمريكية لتكنولوجيا المعلومات من جانب، وبسبب اعتماد البرمجيات على اللغة من جانب آخر. وكما هو معروف، فإنّ اللغة اليابانية تشكّل حاجزاً منيعًا أمام السّيادة اليابانية في مجال البرمجيات، نظراً لعدم انتشارها عالميًا. وقد استغلت الترسانة الأمريكية عمومًا اللغة الإنجليزية وانتشارها كأمضى أسلحتها في فرض هيمنتها على صناعة البرمجيّات.

بعد انْحسار مشروع الجيل الخامس، برزت ملامح الخريطة «الجيومعلوماتية» في صورة قطبين: أمريكيّ وآسيويّ، يسعى كل منهما لاحتواء الآخر؛ إلى جانب كيان

أوروبيّ مشترك يُعَدّ الأمن المعلوماتيّ أحد الأهداف الرئيسية لتكتله الاقتصاديّ والسياسيّ. وقد انعكس هذا الوضع الثلاثي في صورة ثلاثة مشروعات أساسية تلت مرحلة الجيل الخامس؛ وهي:

- المشروعُ الياباني لحوسبة العالم الواقعيّ Real World Computing (RWC).
- المشروع الأمريكيّ لتطوير نظم حاسوب واتصالات عالية الأداء High Performance Computing and Communication Program (HPCC).
- المشروع الأوروبيّ، وتمثله المرحلة الثانية لبرنامج البحوث الاستراتيجيّ في مجال تكنولوجيا المعلومات European Strategic Program for Research in Information Technology (ESPRIT II).

تسعى هذه المشروعات الثلاثة إلى دمج الرّوافد المختلفة لتكنولوجيا المعلومات في وحدة سبرنطيقية Cybernetic متكاملة، تتميّع فيها الحدود الفاصلة بين العتاد والبرمجيات، وبين نظم الحاسوب ونظم الاتصال؛ وهي تهدف أيضًا إلى إرساء عَلاقة أكثر سلاسة بين الإنسان والآلة، وإلى تطوير تلك العلاقة على نحو يصبح معه الحوار بينهما طبيعيًا ومتناغمًا.

مما سبق، يتضح أنّ عتاد الحاسوب يدين بتصغيره - أساسًا - إلى اختراع الترانزستور، وما أدى إليه من تطور في مجال الدّارات المتكاملة. ومرة أخرى يعيد التاريخ نفسه؛ فيواجه الديناصور الإلكتروني الثقيل والبطيء المصير نفسه الذي لاقاه نظيرُهُ البيولوجيّ من قبله، الذي انقرض ليأخذ مكانه الأصغر والأسرع، ويتقلص حجم الحاسوب من الماكرو إلى الميني فالميكرو ثم النّانو؛ حتى استقر به المقام أخيرًا ليصبح في حجم راحة اليد Palm-top computer.

لا يتطلّب التصغير اللامتناهي استحداث موادّ جديدة لبناء الرقائق الإلكترونية حَسْبُ؛ بل يحتاج أيضًا إلى أساليبَ متقدمة ومبتكرة لتصميمها وتصنيعها واختبارها وتغليفها Packaging. ويقصد بالتغليف هنا تهيئتها للتركيب في الدّارات الإلكترونية الأكبر. ويتطلب تصنيع هذه المكوّنات الدقيقة للغاية مواصفات قياسية بالغة الدّقّة في بناء المصنع (المسبك الإلكتروني) من حيث معدلات الاهتزاز، وتعقيم جوّ العمل ضد

نفاذ الأتربة ومصادر تلوّث الهواء الأخرى، والتقليل قدر الإمكان من التدخل البشري تحقيقًا لدرجات عالية من الدقة؛ وذلك من خلال الأتمتة الشاملة أو شبه الشاملة لجميع مراحل التصنيع. وهو الأمر الذي جعل تكنولوجيا تصنيع عتاد الحاسوب حكرًا على عدد محدود للغاية من كبرى الشركات المصنّعة.

يمكن القول إنّ تكنولوجيا الإلكترونيات الدقيقة تعيش حتى وقتنا هذا في عصر السيليكون. وهي المادة الصلدة غير الموصلة للكهرباء بصورتها النقيّة، التي تُختزل من الرّمال، وتُرشّح من الشوائب لدرجة عالية من النقاوة، ليعاد بعد ذلك تلقيح بلّوراتها النقية بشوائبَ فلزيّة (كعناصر موصلة للكهرباء Conductors)، تُوزّع في أنماط محددة، لتحاكيَ بنية أشباه الموصّلات للكهرباء، كما في الترانزستور والعناصر الإلكترونية الأخرى، التي تشكّل من خلالها خلايا الذّاكرة الإلكترونية أو الدّارات المنطقية. وهي التي تُنفّذ العمليات الحسابية داخل وحدة المعالجة المركزية. وبذلك تتحوّل عملية معالجة المعلومات إلى حركة للإلكترونات خلال المسالك الدقيقة التي يجري «شقها»، أو بصورة أدق نقشها، خلال رقائق السيليكون. وكلما زادت سرعة المعالجة (حركة الإلكترونات)، زادت الطاقة الحركية التي تشع في النهاية بصورة طاقة حرارية. وكما هو معروف، يتدهور أداء الرقيقة الإلكترونية مع ارتفاع درجة الحرارة؛ إلى أن يصل إلى الحد الذي يتعذّر معه قيامها بمهمتها. ويذكّرنا هذا بالحاجز الحراري Thermal barrier، الذي اصطدمت به صناعة الطائرات التي تطير بسرعات أعلى من سرعة الصوت Supersonic في الماضي. إنه الحاجز نفسه الذي يقف اليوم عائقًا أمام تطوير الحاسوب ذي السرعة الفائقة. وكما أتى الحل في حالة طائرات (السوپرسونيك) من استخدام مواد جديدة مقاومة للحرارة، تتجه الجهود الحالية لتطوير الحواسيب الفائقة السرعة إلى استخدام موادّ جديدة ذات موصليّة فائقة Superconductivity، إلى حد لا تقاوم معه سريان التيار الكهربائي؛ ومن ثمّ تقل إلى درجة كبيرة الحرارة الناشئة عن الحركة السريعة للإلكترونات داخل الرقيقة. ويعيب هذه الموادّ حاجتُها إلى وسائل تبريد معقدة ذات كلفة عالية؛ لأنها لا تكتسب خاصيّة الموصليّة الفائقة تلك إلا عند درجات حرارة منخفضة للغاية، «قريبة» من درجة الصفر المطلق (٢٧٣ درجة سلسيوس تحت الصفر). وقد نجح العلماء أخيرًا في التوصّل إلى مواد تعمل في جو

«أدفأ»، قريب من ١٥٠ درجة سلسيوس تحت الصفر. [والمحاولة ما زالت مستمرّة للوصول إلى درجات حرارة أعلى فأعلى. **(المحرّر)**]

(ب) النقلة النوعية من العناصر الإلكترونية إلى العناصر البيولوجية : إن السرعة التي يمكن تحقيقها من خلال الفيزياء اقتربت من حدودها العُليا؛ ولا أمل في تحقيق القفزات المطلوبة إلا بطرح الفيزياء جانبًا واللجوء إلى البيولوجيا. وهو العلم الذي دانت له خبرات عظيمة عبر العصور الجيولوجية الممتدة في تطوير آلات لمعالجة المعلومات غاية في الذكاء والتّعقيد، بدءًا من نواة الخليّة وانتهاء بالمخ البشري؛ أسمى آلات معالجة الرموز.

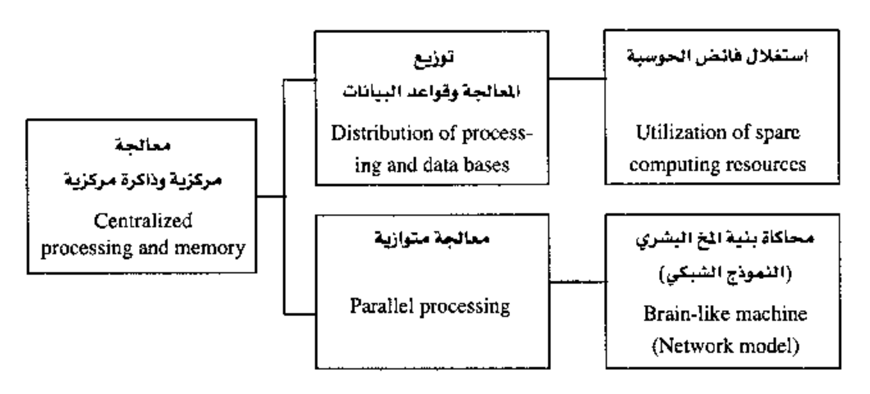
يبدي علماء الحاسوب حاليّـًا اهتمامًا متزايدًا بالبحث عن عناصر بيولوجيّة ثنائية الحالة Bi-state، تصلح لاستخدامها عنصرَ البناء الرئيسيّ لحواسيبَ إلكترونية، تُبنى وحدة معالجتها المركزيّة وذاكرتها من رقائق هذه العناصر. ويفكر البعض في المزج بين العناصر البيولوجية والعناصر السيليكونيّة؛ فيما يُعرف حاليّـًا بتكنولوجيا البيوسيليكون Biosilicon. ومن المتوقّع أن تفتح العناصر البيولوجية، الثلاثية الأبعاد بطبيعتها، الطريق إلى تطوير دارات إلكترونية ثلاثية الأبعاد، ذات سُرعة هائلة، ومعدل منخفض جدًا لاستهلاك الطّاقة، وتصغير فائق للغاية Ultra-miniaturization يمكن أن يصل إلى مليون بليون عنصر في السنتيمتر المكعّب الواحد. إنّ التقاء تكنولوجيا العلومات مع التكنولوجيا البيولوجية يمثل التقاءً علميّـًا تقنيًا مثيرًا على مستوى العنصر الميكرويّ الماديّ لا يناظره ـ في رأي الكاتب ـ إلا التقاء البرمجيات، على المستوى الماكرويّ اللاماديّ، مع الفلسفة وعُلوم المعرفة.

لقد تأهبت تكنولوجيا المعلومات للقاء علم البيولوجيا، كما تأهّب هو للقائها. فمن جانبه، يلوذ علم البيولوجيا الجُزيئية Molecular biology الحديث بالنهج المعلوماتيّ ليُعينه على كشف أسرار الجينات ولغتها ونصوصها الوراثية الكامنة في كروموسومات نواة الخلية. أما تكنولوجيا المعلومات، فتصبو من جانبها إلى مُحاكاة الوظائف البيولوجية واستخدام الآليّات الوراثية، خاصّة فيما يتعلّق بمحاكاة آليّات التكيُّف مع البيئة المحيطة؛ وهي السّمة الفريدة التي اكتسبتها الكائنات البيولوجية عبر ملايين السنين. إن هذا التكيُّف التلقائيّ مع البيئة يعد خاصية أساسية في إكساب الحاسوب

القدرة على التعلُّم الذّاتي . وهكذا، ولأول مرة في تاريخ البشرية، أمكن للتكنولوجيا أن تجمع بين الفيزيائي المتمثل في عتاد الحاسوب، والذّهنيّ المتمثّل في البرمجيات، والحيويّ المتمثل في استخدام العناصر البيولوجية في بناء عتاد الحاسوب وتطوير برمجياته . وللحديث بقية في الفقرات القادمة .

٢:١:١ تطوّر معماريّة بناء الحاسوب

يلخّص الشكل (٢) مسار تطوُّر بناء الحاسوب الذي يمكن إيجازه في سلسلة النّقلات النوعية بين المراحل الآتية :



الشكل (٢) : مسار تطور معمارية بناء الحاسوب.

أ ـ معالجة مركزية وذاكرة مركزية: قامت معمارية بناء الحاسوب على أساس النموذج المركزيّ الذي وضعه مهندس الحاسوب الأول، العالم المجريّ جون فون نيومان. وهو النموذج المعروف باسم «آلة فون Von machine»، الذي يرتكز على مبادئ أساسية عدة، هي : مركزيّة وحدة المعالجة التي يعمل الجميع تحت سيطرتها، ومركزية الذاكرة الوحيدة ذات الخانات الثابتة الطول التي يتنافس الجميع على شغلها . ويقصد بمركزية المعالجة أنّ ثمة آلية حوسبة وحيدة تقوم بتنفيذ تعليمات البرامج واحدةً تلو الأخرى، في تسلسل رتيب لا فكاك منه؛ وإذا تطلّب أيٌّ من هذه التعليمات التّعامل مع قائمة من عناصر البيانات، فإن تناول هذه العناصر يتم بالأسلوب التتابعيّ نفسه : عنصراً تلو آخر . إنّه ـ بحقّ ـ نظام مركزي صارم لا يسمح بتنفيذ أكثر من عملية

واحدة في الوقت ذاته. وكلُّ ما نسمع عنه من إمْكان تنفيذ برامج عدة أو مهمّات برمجية بالتوازي، من خلال ما يُعرف بأسلوب البرمجيات والمهمّات المتعددة Multi-programming and multi-tasking، ما هو إلاّ نوع من الخداع الهندسيّ يُضفي على الآلة، التتابعية في صميمها، توازيًا ظاهريّـًا Apparent concurrency وآنية مصطنعة Artificial simultaneity. وتفسير ذلك أنّ مجموعة المهمّات البرمجية المطلوب تنفيذها آنيّـًا تقتسم ذاكرة الحاسوب، وتدور عليها وحدة المعالجة المركزية بصورة متتابعة؛ لتعطي كلاً منها قسطًا من الوقت تتفرّغ خلاله الوحدة المذكورة لخدمة هذه المهمة البرمجية دون غيرها. وتستمر هذه الدورة إلى أن تُنفّذَ جميع المهمّات البرمجية؛ ليبدو الأمر ـ ظاهريّـًا ـ وكأنّ وحدة المعالجة المركزية قامت بمهمّاتها بصورة متوازية.

هذا عن مركزية وحدة المعالجة. أما مركزية الذاكرة، فيقصد بها أنّ جميع البرامج المطلوب تنفيذها، وكذلك البيانات المغذاة إليها والمستخرجة منها، لا بُدّ من أن تمرّ من خلال الذاكرة المركزية؛ بمعنى أنّه لا توجد عناصر ذاكرة محلية لكل برنامج على حدة.

بناءً على ما سلف، فإن السؤال الذي يطرح نفسه هنا هو: كيف تَأتّتْ لهذه الآلة ـ بالرغم من بساطتها الظّاهرة ـ هذه القدرة الهائلة؟ إنّ سرّ قوتها يكمن في سرعتها التي تعوض قصورَها (المهارة عوضًا عن الذكاء). وقد سادت هذه الفكرة أمدًا طويلاً، إلى أن أيقن الجميع أن القوة الغاشمة ليست بديلاً عن الذكاء، وأنّه لا يمكن تحقيقُ ذلك إلا بإعادة النّظر في «آلة فون» من أساسها.

ب ـ المعالجة المتوازية: مع ارتقاء تطبيقات المعلوماتية وتعقُّدها، عُدّت معمارية آلة فون «عُنق زجاجة» يحول دون تحقيق السرعات المطلوبة لهذه التطبيقات. ولم يحدّ هذا الاختناق من الأداء حَسبُ؛ بل جعل كذلك من تنفيذ مهمّات التطبيق نَفْسها في كثير من الأحيان عملية مستحيلةً. فهنالك الكثير من التطبيقات التي تتطلب الاشتباك مع كمّ هائل من البيانات في الوقت ذاته. فلا يمكن ـ على سبيل المثال ـ تصوُّر إمكان محاكاة نظم الرؤية الاصطناعية (المُحَوْسبة) Computerized vision لعملية الإدراك البصريّ، ذات الطابع الجشتالتيّ، من خلال معالجة متلاحقة تتناول تفصيلات

الأشكال نقطةً تلو الأخرى، أو سمةً وراء سمة، أو موضعًا بعد موضع. إنّ نُظُم الرؤية الاصطناعية تحتاج إلى توازي الكثير من العمليات الحسابية لتمييز الأنماط والأشكال ومقارنتها؛ بحيث يمكن إدراك العالم المرئيّ بصورة طبيعية أو شبه طبيعية. أمّا مثالُنا الآخر لضرورة المعالجة المتوازية، فإنّنا نستقيه من مجال معالجة اللغات الطبيعية آليّا؛ وتحديداً من نظم الفهم الآليّ لمضمون النُّصوص. وهي النظم الآلية التي تسعى إلى محاكاة الآليات الذهنية المعقدة المرتبطة بعملية الفهم، مَعَ أنها أبعد ما تكون عن التلاحُق الميكانيكي. فهي - بحكم طبيعتها - تحتاجُ إلى تضافر القرائن اللغوية المختلفة: الصوتية والصّرفية والمعجمية والنّحوية والدّلالية، وتتشابك هذه القرائن مع الجوانب البلاغية؛ بل مع ما هو خارج اللغة أيضًا من أمور المقام الذي يجري فيه الحدث اللغويّ. علاوةً على هذه الأمثلة، ثمة الكثير من التطبيقات التي تحتاج إلى طاقة حاسوبية هائلة؛ أو إلى حاسوب ذي سرعة فائقة، كتلك الخاصة بإجراء الحسابات من أجل حلّ عدد هائل من المعادلات الآنيَّة والتفاضلية، أو تلك الخاصة بمحاكاة النظم البيئية والتفاعلات الكيميائية والعمليات البيولوجية.

إنّ التّوازي خاصية أصيلة؛ سواء بالنسبة إلى الظواهر المادية المعقدة، أو عمليات الإدراك المعرفيّ المتداخلة. ولكيْ يكون الحاسوب أداةً أكثر فاعلية للسيطرة على التعقُّد ووسيلة لمعالجة المعرفة بصورة أقرب إلى الواقع، لا بد له من أن يتخلص من آفة المركزية والتلاحق التي وصمت «آلة فون».

في ضوء ما سبق، وبالرّغم مما قد يبدو جُحوداً، فإنّ أحفاد فون نيومان لديهم من المسوّغات القوية ما يفرض عليهم التخلّص من أسر «آلة فون» والاستعاضة عنها بما أطلقوا عليه اسم «آلة لافون Nonvon»، التي تقوم على أساس إحلال التوازي بديلاً عن التّلاحق واللامركزية. يتحقّق ذلك من خلال بناء حاسوب تتوزّع فيه وحدة المعالجة المركزية في صورة شبكة من المعالجات الميكروية Microprocessors المتوازية؛ بحيث تتنافس هذه المعالجات على ذاكرة مشتركة واحدة Sharable memory، أو تشترك في عدد محدود من الذّاكرات، أو يصل الأمر إلى مداه بأنْ ينفرد كل معالج ميكرويّ في هذه الشبكة المتوازية بذاكرته الخاصّة به.

بقول آخر، يعتمد أسلوب المعالجة المتوازية في زيادة طاقة الحوسبة ـ أساسًا ـ على تعدُّد الموارد التي يُقسم الحمل الحوسبيّ عليها؛ وذلك من خلال توزيعه على عناصر مصفوفة المعالجات الميكرويّة المتوازية. وهو الأمر الذي يتطلّب نوعًا من البرمجة المتوازية، التي يتحقّق من خلالها الفصلُ بين الخطوات الممكن تنفيذها بالتوازي وتلك التي يجب تنفيذها مركزيًا.

ج ـ **توزيع المعالجة وقواعد البيانات:** أدّت المركزيّة الصّارمة التي فرضتها «آلة فون» بدورها إلى مركزية معالجة المعلومات داخل المؤسّسات؛ وأصبحت نظم المعلومات تحت سيطرة التكنوقراط من المبرمجين، ومصمّمي النظم، ومشغّلي نظم الحاسوب والاتصال. وهو الوضع الذي أدّى إلى تهميش دور المستخدم الحقيقي للمعلومات، وكان ـ بلا شك ـ أحد الأسباب الرئيسية وراء النتائج المتواضعة التي حققتها نظم المعلومات خلال مراحلها الأولى في معظم المجالات، إلى حد التشكيك في جدوى استخدام الحاسوب. وللتخفيف من وطأة المركزية الصّارمة، ظهرت إلى حيّز الوجود نُظُم المعلومات الموزّعة Distributed systems. وساعد في نشأتها ظهورُ الحاسوب المصغّر (ذي الحجم الصغير) Minicomputer، وتوافُر نظم الاتّصال عبر تبادُل البيانات بين الحواسيب الموزّعة جغرافيًا. وبلغت التوزيعية مداها بظهور الحاسوب الميكرويّ Microcomputer، الذي أرجع للحاسوب أهليته؛ بعد أن انتشرت مُعَداته وانصهرت تطبيقاته في جميع أرجاء الـمُنشأة، من أدنى مستويات التنفيذ إلى أعلى طبقات الإدارة.

استتبع توزيع نُظُم المعلومات جغرافيًا توزيع قواعد البيانات أيضًا؛ ليظهر ما يُعْرف بقواعد البيانات الموزعة Distributed databases، وما ارتبط بها من وسائل تقنيّة للبحث عن المعلومات من مصادر عدّة موزّعة جغرافيًا.

وعلى الرغم من حسم المعركة لصالح المركزية، فهنالك على ما يبدو مركزية من نوع جديد تلوح في الأفق، وذلك نتيجة انتشار الإنترنت Internet والإنترانت Intranet. وتقوم المركزية الجديدة على أساس الثنائيّة المعروفة باسم «الزبون ـ مقدم الخدمة Client-server». وتتمثل في خادم مركزيّ Server يُقدّم الخدمات، ويتولّى

مهمة التعاقد مع قواعد البيانات، ويرتبط به حاسوب المستخدم النهائيّ Client، الذي يستجلب الخدمات ويسترجع المعلومات من الخادم حسب الطلب. لقد ضحّى المستخدم النهائي، في ظل الثنائية المشار إليها، بحيازته المباشرة للمعلومات والبرامج؛ مقابل امتلاكه القدرة على النفاذ إلى عدد هائل من مواقع تقديم خدمات المعلومات، التي يعمل كلٌّ منها ـ إذا نظرنا إليه منفردًا ـ على أساس مركزيّ.

د ـ محاكاة بنية المخ البشري: يؤمن الكثيرون من مهندسي معمارية الحاسوب بأنّ هذه الآلة الفريدة لا يمكن لها أن تتخلّص من غشم الآلة الصمّاء إلا إذا بُنيت بصورة تُحاكي بنية المخ البشريّ. ولا يقصد بذلك محاكاة هذه العجينة الرمادية ذات بلايين الخلايا العصبية؛ وإنّما المقصود هو اقتراض بعض السمات الأساسية للمخ البشري، ألا وهي:

- البناء الشبكي المتعدد المستويات.
- توزيع الوظائف على عدد من المراكز المتخصّصة التي تتفاعل مع بعضها بعضًا، أخذًا وعطاءً.
- التّغاضي عن الطّفيف والشّارد من أجل التركيز على الجسيم والمتواتر.
- خلق مسارات بديلة لتبادل المعلومات في حالة تعرّض المسارات الأصلية للخلل أو الاختناق.
- استدعاء المعلومات من الذاكرة بأسلوب التّداعي Associative memory، لا بالأسلوب المتبع حاليًّا للبحث عن البيانات، من خلال معرفة العنوان؛ أي الموضع الذي تكون البيانات مخزّنة فيه في خلايا الذاكرة. ويمثل أسلوب التّداعي إحدى القدرات الأساسية التي تميّز الذاكرة البشريّة. ويُقصد بالتّداعي هنا أن البحث عن معلومة معينة يمكن أن يتشعّب إلى البحث عن معلومات أخرى ذات عَلاقة بالمعلومة الأصلية مدخل البحث؛ وذلك من خلال تتبع علاقات التكافؤ والتقابل والتشابه والتناقض والتلازم والتعالق والاشتمال والعلة والأثر، وسواها من التداعيات التي تربطُ هذه المعلومة بغيرها.

ويتطلب الحاسوب القائم على النموذج الشبكي طُرقًا مستحدثة للبرمجة، مثل: برمجة الشبكات العصبيّة الاصطناعية Artificial neural net programming، والبرمجة الوراثية Genetic coding؛ وهو ما سنتناوله بمزيد من التفصيل في الفقرتين ٣ : ٤ : ٣ و ٣ : ٤ : ٤ من هذه الدراسة.

هـ ـ استغلال فائض الحوسبة: من المعروف أنّ معدل استغلال عتاد الحاسوب يمثل نسبة ضئيلة من الوقت المتاح. بقول آخر، ثمة فائضٌ هائلٌ من طاقة الحوسبة غير المستخدمة. ومع انتشار الإنترنت، التي ربطت بين عناصر عتاد الحاسوب المنتشرة جغرافيًا، يفكر البعض حاليًا في استغلال هذا الفائض لتشكيل «حاسوب فائق» موزّع، يمكن أن يشارك الكثيرون في استخدامه. إنّه نوع من «التضامن الرقمي»، إن جازالقول، على أساس مبدأ المشاركة في الموارد.

١ : ٢ وسائل إدخال البيانات وإخراجها

١ : ٢ : ١ تطور وسائط تخزين البيانات



الشكل (٣) : مسار تطور وسائط البيانات.

يوضح الشكل (٣) سلسلة النقلات النوعية التي طرأتْ على وسائط تخزين البيانات. وتتلخص في النقلات بين الوسائط الآتية:

أ ـ الوسائط المغناطيسية: حتى وقت قريب، سادت الوسائط المغناطيسية وسائط تخزين البيانات، سواء فيما يخص الوسائط الثابتة كالأقراص الصّلدة Hard discs؛ أو الأقراص غير الثابتة Floppy discs وشرائط الكاسيت والرقائق المغناطيسية، كتلك التي تُلصق ببطاقات الائتمان وما شابهها. وتتميز الوسائط المغناطيسية بالسهولة النسبية

لعمليات التسجيل، وإمكان المسح والتعديل وإعادة التسجيل بصورة غير محدودة تقريبًا. غير أنّ ما يعيب الوسائط المغناطيسية سعتها المحدودة «نسبيّـًا»، والارتفاع النسبيّ لكلفة مُعَدّات الإدخال والإخراج التي تتعامل معها.

ب ـ **الوسائط الضّوئية** : تركّزت جهود التصغير اللامتناهي ـ أوّل ما تركّزت ـ على عناصر العتاد الخاصّة بوحدة المعالجة المركزية وعناصر الذاكرة؛ ولم تنلْ معدات تخزين البيانات من أشرطة وأقراص ممغنطة نصيبها من ذلك إلا لاحقًا. وبالرّغم من الجهود الهندسية لتصغير هذه المعدات لتتلاءم مع مطالب الحاسوب الشّخصي، فإنّ سعة تخزين البيانات ظلّت محدودة (نسبيّـًا بالطبع)، وذلك بسبب القيود الفيزيائية الكامنة في الوسيط المغناطيسيّ. وجاءت النقلة النوعيّة بظهور الوسائط الضوئية Optical media، كالأقراص المدمجة Compact disks (CDs) ذات السعة الهائلة في تخزين البيانات. إنّ قرْصًا ضوئيّـًا واحدًا لا تتعدى كتلتهُ غرامات قليلة وقطره ١٢ سنتمتراً يمكن أن تُسجّل عليه المادة الكاملة لـ ١٠٠٠ كتاب بحجم القرآن الكريم. ويتوقّع الكثيرون أن تتضاعف هذه السعة مرات عدّة على مدى السنوات القليلة القادمة، وأن يصبح الوسيط الضوئيّ هو وسيط حفظ المعلومات.

تتميز الوسائط الضوئية بانخفاض الكلفة؛ سواء تلك الخاصّة بالأقراص الضوئية نفسها، أو بمعدات الإدخال والإخراج التي تتعامل معها. لكن يعيب هذا النّوع من الوسائط البطء النسبيُّ في استرجاع المعلومات؛ علاوة على استخدامها ـ في الغالب ـ لغرض القراءة منها فقط من دون الكتابة عليها. وقد ظهرت في الآونة الأخيرة وسائط ضوئية يمكن الكتابة عليها مرّة واحدة ليس غير.

لقد حلّت الوسائط الضوئية مشكلة أساسية في نظم المعلومات، ونقصد بها مشكلة سعة التخزين، لتظهر مشكلة أكثر صعوبةً؛ ألا وهي كيفية استرجاع المعلومات من هذا الكمّ الهائل من البيانات الذي أصبح مُتاحًا، بعد أنْ أمكن تخزينهُ في هذا الحيز الصغير للغاية. لم تعُد المشكلة، إذًا، هي وسيط التخزين؛ وإنما آليات البحث التي باتت في

أمسّ الحاجة إلى تصميم أدوات برمجية ذكية من أجل «الملاحة» المعلوماتيّة، تهدي الباحث إلى أقصر الطرق في آليات رحلة «إبحاره» عبر بحار البيانات ـ بل قُلْ محيطاتها ـ ليصل إلى غايته في أقل وقت ممكن، وبأعلى درجة ممكنة من دقة التصويب البحثيّ.

ج ـ **الوسائط البيولوجية**: بالرّغم من طاقة التخزين الهائلة للوسائط الضوئية، فإنّ وسيط تخزين المعلومات ـ مثله مثل عنصر البناء الرّئيسي لوحدة معالجة المعلومات أو ذاكرة الحاسوب ـ يتّجه حاليّـًا هو الآخر إلى استخدام العناصر البيولوجية. إن الفكرة المحورية وراء ذلك تكمُنُ في أن الخليّة الحية اللامتناهية الصغر عنصر ذو قدرة فائقة للغاية على تخزين البيانات؛ ويكفي هنا أن نشير إلى أنّ كل خلية من خلايا الكائن البشريّ تتضمن نَوَاتُها النصّ الوراثيّ الكامل (الجينوم) المكوّن من ٦٠ بليون حرف. لقد أغرى ذلك مهندسي الحاسوب لاستعمال هذه العناصر البيولوجية وسائطَ لتخزين البيانات. ويُعدّ ذلك ـ إنْ تحقّق ـ فتحًا هائلاً لتطوير حاسوب فائق الصغر ذي قدرة هائلة على التعامل مع كم هائل من البيانات؛ وهي الخاصية التي سادت مع زيادة تعقُّد الأدوات التي يبتكرها الإنسانُ للتعامل مع هذه الظواهر. لنتخيّل ـ على سبيل المثال ـ حجم البيانات التي يجب أن يحملها أو يستقبلها إنسانٌ آليٌّ ميكروي (فائق الصّغر) نريد أن نبعث به إلى موضع معيّن داخل جسم كائن حيّ لينقل إليه رسالة علاجية، أو يقوم بمهمّات تشخيصية أو جراحية دقيقة.

٢:٢:١ تنوّع وحدات الإدخال والإخراج

أ ـ وسائل إدخال النصوص وإخراجها

كان إدخال البيانات من لوحة المفاتيح، وإظهار النتائج على الشاشة المرئية وآلة الطباعة، هو الأسلوب الطّاغي في عملية التفاعل بين الآلة ومستخدمها البشريّ. وظهرت بعد ذلك نُظُم المسح الضوئي للنصوص Optical Character Readers (OCR)، التي تمكّن من قراءة النصوص آليّـًا؛ وبذلك، يمكن الاستغناء عن العملية المكلفة لإدخالها يدويّـًا.

ب ــ وســـــــائـل إدخـــــــال الأشـكـال وإخـــــــراجــــــــهـــــــا

تُدخل الأشكال باستخدام الماسحات الضوئية Scanners وتُخرج على الراسمات Plotters أو الطابعــات (الراقنات) Printers . هذا عن الأشكال المسطّحــة الثنائيــة الأبعاد . أما فيما يخصّ الأشكال المجسمة الثلاثية الأبعاد، فقد استُخدمت تكنولوجيا التــشكيـل المجســم Holography لتــولـيد أشـكـال ثلاثيـة الأبعاد تبـرز من شـاشـة العرض المسطحة . وطُبقت بالفعل لتوليد ما يُعرف بـ «الرؤوس المتكلّمة Speaking heads» ، التي تمثل ثورة حقيقية في مجال عقد المؤتمرات عن بُعْد؛ أو ما يُسمّى أحيانًا «نقل الحضور Transmission of presence» .

ج ـ وسائل اختيار موضع الشاشة

يحتاج المستخدم في كثير من الأحيان إلى اختيار موضع معين من الشاشة . ويتحقّق ذلك إمّا باستخدام وسائل التحديد الموضعي Pointing devices ، مثل القلم الضوئي Light pen؛ أو بالفأرة Mouse التي شاع استخدامها بكثرة لسهولته .

د ـ وحدات التعامل مع الكلام البشريّ

لكي يصبح تفاعل الإنسان مع الآلة طبيعيّاً ، يجب إسقاط جميع الحواجز التي تفــصل بينهــمـــا ؛ وذلك بالتـخلّص من لوحـات المفـاتيح والطابعـات والشــاشــات المرئية ، ليصبحَ الحوار بينهـمـا مباشراً من خـلال الكلام العادي . يَعني ذلك أن يصبح الحـاسـوب قـادرًا على تمييـز الكـلام المنطوق وفـهـمـه آليّـاً Automatic speech recognition and understanding ، إلى جـانب النطق به ؛ أي توليـد الكلام آليّـاً Speech synthesis . وينطوي ذلك على تحديات تقنية كثيرة ، سواء على مستوى العتاد أو البرمجيات ؛ وكذا الأمر بالنسبة إلى البحوث في المجالات اللغوية والنفسية ، وفي هندسة معـالجة الإشـارات Signal processing . إنّ نُظُم الفـهم الآلي للكلام المنطوق يتعيّن عليها استخلاص مضمون الرسالة المنطوقة من وسط إشارة صوتية تتّسم بالتغيُّر والتلوُّن والتشوُّش والتشوُّه ، ويعتريها الحذف والمطّ وتأثير اللكنة واللهجة ، وتُدغم فيها الأصوات وتتداخل فيها الكلمات وتُقتضب التعبيرات . أضف إلى ذلك أنّ على الآلة

أن تفهم قصْد من تحاوره، وتتكيف مع لوازم كلامه، وتتغاضى عن أخطائه الطّفيفة. وبالرغم من كلّ هذه الصعوبات، فثمّة محاولات جادة لتطوير نُظُم لتمييز الكلام وفهمه آليّـًا، من أهمّ تطبيقاتها طابعة تعمل بالإملاء.

وكما يمكن للحاسوب أن يفهم الكلامَ المسموع، يمكنه أيضًا توليدُ الكلام المنطوق؛ أي قراءة النصوص آليّـًا بتحويلها إلى مقابلها المنطوق. ويتزايد استخدام هذه النظم لقراءة البريد الإلكتروني، التي باتت تمثل حاليّـًا بالنسبة إلى كثيرين عبئًا يوميّـًا. إلاّ أنه ممّا يعيبُ الكلام المولّد آليّـًا أنه غير طبيعي ؛ أي رابوطيّ Robotic. بيْدَ أنه من أجل تحسين خصائص ذلك الكلام، يُطعّم حاليّـًا بأنماط النّبر والتنغيم وتحسين أداء الآليات الفونيتيّة Phoenetic، التي تركّب الكلام المنطوق.

هـ ـ وحدات محاكاة الحواس الإدراكية

بالرّغم من كل ما أسلفناه، فإن وسائل التعامل مع الحاسوب ما زالت في مرحلة بدائية للتعامل مع الرموز. ولا شكّ في أنّ التفاعل بين الإنسان والآلة يتجاوز هذه الوسائل البسيطة لكي يصبح أكثر طبيعية. فعلى سبيل المثال، إضافة إلى الحوار المباشر من خلال الكلام، تُعدّ اليدُ البشرية من أكثر أدوات الإنسان مرونةً وقدرةً على التعبير. إلا أنّ الحاسوب لا يزال عاجزاً عن فهم «همس» الأنامل وهي تلمس برقّة، و«صياحها» حين تضغط بشدة، وحركة أصابع اليد حين تشير وتنذر، وقبضتها حين تتكوّر لتهدد أو تنبسط لتُرحّب. ومن أجل فهم «لغة الأيادي Hand language»، صُمّمت قفازات ذكية ذات مجسّات ووسائل ضوئية حساسة تعمل أداة وصل لإحداث التفاعل الفوريّ مع الآلة. ولا يقتصرُ الأمر على اليد؛ بل يمتدّ إلى أعضاء أخرى من الجسم. فهنالك محاولات تجري لكي تتجاوب الآلة مع حركة الرأس والشفاه والأعين؛ بل مع حركة الجسم كلّه أيضًا. وأصبحت وحدات التفاعل مع الآلة تشمل النظارة والخوذة ورداء البيانات الكامل Data suit ذا المجسات الحسّاسة لربط أعضاء الجسم مع الآلة.

و ـ وحدات طرفية بيولوجية

مع ازدياد تعزيز الجسم الإنسانيّ بوسائل إلكترونية تعويضية أو لتحسين قدراته

البيولوجية، يتنامى الاهتمام حاليّاً بتطوير وحدات إدخال وإخراج بيولوجية حسّاسة Biosensors، يمكن أن تلتقط درجة حرارة الجسم وضغْط الدم ولُزوجته وسرعة تدفقه، بل حتى نسبة الدهون فيه؛ وذلك من أجل إيصال البيانات المتعلقة بها إلى الوسائل الإلكترونية التي تتحكم في الأعضاء الفسيولوجية أو الحركيّة المختلفة، كمُنظّم دقات القلب، والأطراف الصناعية الذكية التي تقترب حثيثًا ـ من حيث قدراتها ـ من الأعضاء الحيوية.

ثانيًا: شبكات نقل البيانات

١:٢ أهمية نُظُم الاتّصال

الإنسانُ ـ كما قيل ـ كائنٌ اتّصاليّ؛ ولا تقوم للمجتمع الإنساني قائمة من دون نظام للاتّصال. فقد عُدّ الاتّصال من جانب البعض شرطًا من شروط بقاء البشريّة. إنّ تاريخ البشريّة، من عصور نقوش الأحجار إلى عُصور بثّ الأقمار، يمكن رصدُهُ بالتوازي مع تطور وسائل الاتّصال التي تربط بين الأفراد والجماعات. ويشهد هذا التّاريخ على أنّ الاتّصال كان دومًا وراء كل وفاق وصراع؛ فكلاهما ـ كما ورد في ميثاق منظمة اليونسكو ـ ينشأ ابتداءً في عقول البشر. وكُلّ ما نسمع عنه من أمور العولمة وصراع الحضارات يرجع في كثير من جوانبه إلى الثّورة العارمة التي أحدثتها تكنولوجيا المعلومات في مجال الاتّصال. لقد اندمجت أركان المعمورة مع بعضها بعضًا عبر الكبول الأرضية والبحريّة، والألياف الضوئية، وأشعّة الميكروويف، ودارات الأقمار الصناعية. ووصل الأمر إلى الحدّ الذي توقع معه البعضُ حدوث «أزمة مرور» للأقمار الصناعية، التي تزاحمت في ارتفاعها الثّابت بالنسبة إلى الأرض Geostationary؛ بصورة يخشى معها تداخُلُ موجات إرسالها. إنّ هنالك ما يزيدُ على ٥٠٠ قمر صناعيّ تدور فَي فلك الأرض، ما بين عسكريّة ومدنية، وعلمية وإعلامية؛ وما بين أقمار للبثّ غير المباشر عبر المحطات الأرضية، وأقمار للبثّ المباشر تبعث برسائلها من دون وسيط إلى مستقبليها في المنازل والمكاتب والمقاهي والنوادي... إلخ. لقد فقد المكانُ سؤدده القديم، وأصبح البعيدُ وشاسعُ البُعد متاحًا في متناول أيدينا: نشاهده، ونحاوره، ونتجسمه؛ نؤثر فيه ونتأثر به. وهكذا، لحقت صفةُ «عن بُعد» بالكثير من الأنشطة والأعمال: من التسوُّق عن بُعْد إلى التعلُّم عن بُعْد؛ ومن إجراء العمليات الجراحيّة عن بُعد إلى إصلاح الأقمار الصناعية عن بُعد.

٢:٢ العَلاقة بين الحاسوب ونُظُم الاتّصال

يتجاوز دور تكنولوجيا الاتّصال كونها عنصراً مكمّلاً لتكنولوجيا الحاسوب إلى دور الشّريك الكامل لها. فقد وصل الأمر إلى حدّ التساؤل: هل نواجه حاسوبًا إلكترونيًّا

يرتبط بالعالم الخارجيّ عبْر شبكة اتّصالات؟ أم شبكة اتّصالات ترتبط بها حواسيب إلكترونية ضمن مُعَدّات إلكترونية أخرى، مثل: أجهزة الهاتف والناسوخ وآلات تصوير المستندات وخلافها؟ من زاوية أخرى، يُمكن أن نتساءل: من صاحبُ الكلمة العليا؟ أهو منتج المعلومة أم موزّعها؟ مع تنامي الاتجاه نحو تحوّل المنتج المعلوماتي من سلعة إلى خدمة، ستزداد أهمية الاتصالات ليتوارى مُنتج (مولّد) المعلومة؛ كما توارى من قبله مُولّد القدرة الكهربائية في شبكة توزيع الكهرباء التي أصبحت الواجهة التي يتعامل معها المستخدم النهائيّ، الذي لا يهمهُ من قريب ولا من بعيد إنْ كان توليد هذه القدرة قد استُخدم فيه الفحم أو الوقود السائل أو الوقود النوويّ. وهذا ما يحدث حاليّـاً على جبهة الإنترنت؛ فالباحثُ عن المعلومة يهمّه في المقام الأول الحصول عليها، لا مصدرها.

٣:٢ التوجُّهات الكُبرى لتكنولوجيا الاتّصال

يُمكن تلخيص التوجُّهات الكبرى لتكنولوجيا الاتصال في النقاط الرئيسية الآتية:

١:٣:٢ من الصوتيّ إلى الرقميّ

في البداية استُخدمت شبكاتُ الهاتف لنقل بيانات الحاسوب؛ باعتبار ذلك خدمةً خاصّةً تقدمها هيئة الاتصال لعدد محدود من العملاء، كشركات الطيران والبنوك وأجهزة الأمن وغيرها. وبما أنّ هذه الشبكات صُمّمت أصْلاً لنقل الصّوت (الإشارة الصوتية المستمرة Analog)، لا البيانات (سلسلة النبضات المتقطعة Discrete)، فقد كانت الخدمة رديئة ومعدل تدفّق البيانات محدوداً للغاية. إلا أنه، مع انتشار تطبيقات المعلوماتية، تضاعفت الحاجة إلى تبادل البيانات؛ إلى الحد الذي انقلب معه الوضع رأسًا على عقب. فقد أصبحت شبكات الاتّصالات تُصمّم أصْلاً لنقل البيانات لأنّ ذلك هو المطلبُ الأعقد؛ في حين عُدّت المكالمات الهاتفية، بصفتها المطلب الأبسط، حمْلاً ثانويّـاً.

لقد أدى نقل البيانات رقميّـاً إلى تحسُّنٍ واضحٍ في مستوى الخدمات، لأنّ الإشارة

الرقمية ـ مقارنة بالإشارة المستمرة ـ أقل عرضة للضّوضاء والتشويش والتداخل؛ كما قاد ذلك إلى تحقيق معدّلات عالية لتدفق البيانات عبر شبكات الاتّصال. ومن أهم نتائج تطبيق التقنية الرقمية أيضًا: تقليصُ حجم معدات الاتصال، وخفة وزنها. ولولا ذلك التّصغير لما أصبح ممكنًا ما نشهده حاليًا من انتشار الأقمار الصناعية؛ فالوزن الكليُّ للقمر الصناعيّ هو أبرزُ العوامل في تحديد متطلّبات إطلاقه وتوجيهه.

٢:٣:٢ من الإلكترون إلى الفوتون

ظلّت الإشارة الهاتفية تنتقل عبر الأسلاك النحاسية في هيئة تيّار كهربائي ضعيف (فيض من الإلكترونات)؛ إلى أنْ حدثت النقلة النّوعية باختراع الألياف الضوئية، التي يسري بداخلها شعاع الليزر حاملاً الرسائل المراد نقلها. وهكذا حلّ تيار الفوتون (جسيمات الضوء) الواهن النقيّ محلّ تيار الإلكترون العنيف (نسبيًّا بالطّبع) المعرّض للتشويش والضّوضاء. لقد تحولت شبكات الاتصالات إلى شبكات «نظيفة» ذات سعات هائلة تصل إلى ١٠ آلاف ضعف سعات شبكات كبول النُّحاس التقليدية.

وقد واجهت تقنية الألياف الضوئية في البداية عقبات اقتصادية وفنية عدة حالت دون سرعة انتشارها في شبكات الاتصال الهاتفيّ. إلا أنه، مع انتشار أساليب الرّقمنة Digitization، برزت ميزة هذه التقنية التي أثبتت تفوّقها بصورة قاطعة.

إن أشعة الليزر غدت تسري في جوف الأرض، وتحت مياه المحيطات، وعبر الفضاء لتنقل الصوت والصورة والنصوص والأرقام. لقد «أضاء» شعاع الليزر الطريق أمام ثورة حقيقية في عالم الاتصالات؛ إذ أتاح سرعة هائلة لتبادل المعلومات، تقدر بالغيغابت Gigabit في الثانية الواحدة. وهي سعة إرسال تكفي لنقل مضمون نحو خمسمئة كتاب في الثانية الواحدة. ويمكن لدارة واحدة من دارات الألياف الزجاجية أن تَنقل ٥٠ ألف مكالمة هاتفية.

٣:٣:٢ من الخاصّ إلى العام، ومن التنوّع إلى التّكامُل

قامت فكرة «السنترالات» على مبدأ تحويل الدّارات Circuit switching؛ بمعنى أن

السنترال يقيم خط ربط بين ثنائي المستقبل والمرسل (من هاتف إلى آخر)، ليحتكر هذا الثنائي خط الرّبط، فلا يشاركهما فيه أحد طوال فترة الاتّصال. واضح أن ذلك يمثّل هدْرًا كبيرًا؛ فالمحادثة الهاتفية لا تستنفد إلا قدرًا ضئيلاً من سعة خط الربط، خاصة لأن الحديث عبر الهاتف غالبًا ما تتخلله فترات من التقطع والسكوت. وكان هذا أحد الأسباب الرئيسية في استحداث أسلوب تحويل رزم الرسائل Packet switching، بديلاً عن «تحويل الدارات» الذي سبقت الإشارة إليه. ففي ظلّ هذا الأسلوب، تختزن الرسائل المطلوب نقلها لفترة زمنية قصيرة لا يشعر بها المستخدم عمليًّا؛ ثم تقسم على هيئة مقاطع أو رزم Packets متساوية يُدمغ كل منها بعنوان المرسل إليه، لتُضخّ بعد ذلك رُزم الرسائل المخزنة على هيئة دفقات معلوماتية متتالية تُوجّه إلى غاياتها بواسطة مراكز تحويل الرسائل Message switching centers. ويحدث ذلك عبر أيّ مسار Routeمتاح يربط بين نقطة الأصل Origin ونقطة الهدف Destination، من دون الالتزام بمبدأ النقل عن طريق أقصر مسار بينهما. ويمكن أن تُرسل المقاطع المختلفة للرسالة نفسها عبر مسارات عدة. عندئذ تقعُ على أجهزة الاستقبال مسؤولية إعادة تجميعها؛ أي القيام بالمهمة العكسية لتقطيع الرسالة بواسطة أجهزة الإرسال.

إضافة إلى ما أدى إليه من رفع كفاءة شبكة الاتصالات، فقد مكّن أسلوب تحويل رُزم الرسائل من دمج خدمات الاتصالات مع بعضها بعضًا، في ظل نظام الخدمات المتكاملة المعروف باسمه المختصر ISDN. ولا يفرّق هذا النظام بين المكالمات الهاتفية أو رسائل الناسوخ أو بيانات الحاسوب؛ فكلها بالنسبة إلى نظام الخدمات المتكاملة سلسلة من البيانات الرقمية تُوجّه عبر مسارات الشبكة على هيئة دفقات إلى أن تصل إلى غاياتها؛ فيُعاد تجميعها وتفصل الإشارات المندمجة بعضها عن بعضها الآخر.

٤:٣:٢ من السلبيّ (أحاديّ الاتّجاه) إلى الإيجابيّ (ثنائيّ الاتّجاه)

تعمل غالبية نُظُم بث المعلومات، والإعلام الجماهيري بصفة خاصة، على أساس الطور السلبيّ؛ إذْ تنتقل المعلومات في اتجاه واحد: من المرسل إلى المستقبل. وقد تحدّث الكثيرون عن الآثار النفسية والتربوية الضارة الناجمة عن ظاهرة التلقي السلبي تلك،

وامتداد الطّور السلبي إلى مرافق المعلومات التي تقدم خدماتها إلى المنازل. فظهرت شبكات «التلتكست Teletext» التي تعمل في اتجاه واحد؛ فتبثّ معلوماتها عن مواعيد وصول الطائرات وإقلاعها وأسعار العُملات وبرامج المسارح والأحداث المهمة، من دون أي تدخّل من جانب المستقبل. ولتلافي هذا النقص، صُممت مرافق المعلومات التي تعمل على أساس الطّور الإيجابي Interactive. فظهرت في البداية شبكات «الفيديوتكست Videotext» الثنائيّة الاتّجاه، مثل تلك التي أقامتها بريطانيا المعروفة باسم Prestel، وتلك التي أقامتها فرنسا المعروفة باسم Minitel؛ وهي أكثر تلك النظم نجاحًا في العالم. وتأتي الإنترنت لتزيح هذه النُّظم جانبًا وتوفّر وسائل متعددة للتفاعل الإيجابيّ مع مصادر المعلومات؛ وهو التفاعل الذي سيزداد إلى حد كبير مع الانتقال إلى «الجيل الثاني لشبكة الإنترنت» التي تعمل بالألياف الضوئية. وسنتناولها في الفقرة ٢ : ٤ : ٢ من هذه الدراسة.

٥:٣:٢ من الثّابت إلى النقّال

لم يعد كافيًا أن يحمل الإنسان عقله معه حيثما يذهب؛ بل أصبح في حاجة إلى أن تنتقل معه وثائقه ومصادر معلوماته واتّصالاته. فلم تعد قدرة الإنسان تكمن فيما تستطيع ذاكرته البشرية المحدودة أن تحمله، ولا عقله المقيّد ـ ولا نقول المحدود ـ أن يتصدّى له؛ وإنّما غدت في قدرته على النفاذ إلى مصادر المعلومات حين يحتاج إليها، وعلى توفير الوسائل العملية لحل ما يصادفه أو يعترضه من مشكلات. وهكذا، أصبح للإنسان رفيقان: حاسوب نقّال Portable computer، وهاتف نقّال Mobile phone. الأول يحمل له ملفاته وبرامجه؛ والثاني هو نافذته التي يطل منها على العالم حيثما كان، محققًا بذلك أعلى درجات الشفافية الجغرافية والمعلوماتية. وما نسمعه حاليًا عن الجيل الثالث للهواتف النقّالة يؤكّد التوجُّه نحو اندماج هذين الرفيقين في وحدة تكافلية Symbiotic مثيرة، تسمح بالنفاذ إلى الإنترنت، وتأدية المهمّات الوظيفية والشخصيّة من خلالها.

٦:٣:٢ من شفرة الإنجليزيّة إلى الشّفرة المتعددة اللغات

تنتقل النّصوص عبر شبكات الاتّصالات بعد تحويل حروف الألفباء إلى شفرة رقمية. وقد صُمّمت هذه الشّفرة ـ أساسًا ـ لتناسبَ متطلبات اللغة الإنجليزية؛ وهو الوضع الذي نجم عنه كثير من القيود التقنية التي فُرضت على تطبيقات المعلوماتية بلغات تختلف حروفها عن الحروف الإنجليزية. وفي هذا الصدد، تختلف العربية عن الإنجليزية في عدد الحروف وأشكال كتابتها؛ إذْ تبلغ الحروف العربية ٣١ حرفًا والأشكال العربية ٩٠ شكلاً، مقابل الإنجليزية التي تمتلكُ ٢٨ حرفًا و ٥٢ شكلاً.

ومع ازدياد قدرة الحاسوب وسعة ذاكرته واشتداد الحاجة إلى عبور المعلومات الحواجز الجغرافية واللغوية، برزت الحاجة إلى شفرة متعددة اللغات يمكن أن تستوعب جميع اللغات، بدءًا من «أبسطها» كالإنجليزية، وانتهاء بأعقدها كاليابانية والصينية، علاوةً على الرّموز الشكلية المتعدّدة الأخرى. وهكذا، خرج إلى حيّز الوجود نظام الكود الموحّد Uni-code، الذي بدأ استخدامُهُ بالفعل في نُظم التشغيل الحالية.

٢ : ٤ تطوّر الإنترنت

١:٤:٢ الفكرة المحورية وراء الإنترنت

إنّ الإنترنت، بلا منازع، هي شبكة الشبكات أو «الشبكة الأم» التي طوت في جوفها مئات الآلاف من شبكات تبادل المعلومات؛ سواء كانت عالمية أو إقليمية أو محلية. ومع كلّ هذه الضخامة وتلك السطوة، لا يمكننا تجاهل حقيقة مهمة، هي أنّ الإنترنت ـ في جوهرها ـ كيان طفيلي؛ فهي تطفو فوق موارد مادية وغير مادية من شبكات ومُعَدّات وبرامج وقواعد بيانات ليست ملكًا لها، بل لغيرها. فقد أقامت الإنترنت مجدها على نجاحها في وضع بروتوكول بسيط وموحّد (TCP/IP)، التزمت به جميع الشبكات التي تريد الانضمام إلى عضوية الشبكة الأم، ضمانًا لتدفق المعلومات فيما بينها؛ إضافة إلى استحداث وسائل مبتكرة من أجل سهولة التنقل بين مراكز خدمات المعلومات وبين وثائقها، وانسياب البيانات عبر الشبكات بما يضمن أكبر توظيف لموارد هذه الشبكات، بعد أن كانت مهدرة فيما مضى.

٢:٤:٢ التوجُّهات الرئيسية لتطوّر الإنترنت

أ ـ من المنتدى العلميّ إلى سوق التجارة الإلكترونية

كانت الإنترنت ـ في بداية نشأتها ـ المنتدى العلمي للربط بين المؤسسات الأكاديمية، كالجامعات ومراكز البحوث. ووقف مؤسسوها الأوائل موقفًا حازمًا ضدّ أي نشاط تجاريّ أو تسلل إعلاني أو إعلامي. لكن، لم يُقدّر لهذه «الطّهارة المعلوماتية» أن تستمر. فسرعان ما أدركت القوى الاقتصادية التقليدية المزايا الكثيرة لهذه الشبكة؛ مثل: قدرتها الفائقة على ربْط مصادر الإنتاج بمنابع الطلب، وفاعليتها الكبيرة في نقل بضائع صناعة الثقافة عبر طُرق معلوماتها فائقة السرعة. وكان ما كان! فداست مؤسسات المال والتجارة والإعلام بأقدامها الثقيلة هذا «الحَرم الأكاديمي»؛ محيلة إيّاه إلى متجر إلكتروني، وبوق إعلاني، ومنفذ للتوزيع، وساحة لبحوث التسويق.

ب ـ نحو مزيد من الاندماج صوب الاحتكار

نظرًا لشدة المنافسة في مجال صناعة الثقافة التي تزداد ضراوةً يومًا عنْ يوم، تشهد الساحة المعلوماتية هذه الأيام حركة محمومة لاندماج الأعمال والتكامل الرّأسيّ بين شركات البرمجيات وخدمات الإنترنت وشركات إمداد المحتوى Content providers، من دور نشر ومؤسَّسات إنتاج موسيقيّ وسينمائيّ؛ إضافةً إلى شركات التوزيع وخدمات المعلومات، كشركات الاتّصال والڤيديو الكبْلي.

ج ـ من السّكونيّ إلى الدّيناميّ

في البداية، كان تبادل المعلومات عبر الإنترنت يتحقق من خلال تبادل الملفات والوثائق ذات الطابع السكوني؛ أو المخصّصة للعرض فقط، إن جاز القول. ومع ارتقاء الشبكة تقنيًّا، ساد الطابع التفاعلي المتمثل في حلقات النقاش وعقد المؤتمرات عن بُعْد؛ علاوة على إمكان تفاعل المتلقّي ديناميًّا مع المادة المعروضة على الشاشة. فلم تعُد الوثائق الإلكترونية مقصورة على النصوص والأشكال الثابتة؛ بل توسّعت لتشمل أيضًا عناصر برمجية فعالة Active، تسمح للمتلقي بالتفاعل معها أخذًا وعطاءً.

د ـ الانتقال إلى الإنترنت ٢

أصبحت الإنترنت بيئة عمل متكاملة، وحلّت محلّ جميع وسائل الاتّصال المعهودة. فنقل بيانات الملفات بين الحواسيب يتحقّق عن طريق البروتوكول المعروف بـ File Transfer Protocol (FTP)؛ وخدمات البريد والناسوخ حل محلها البريد الإلكتروني؛ والاتصال الهاتفي التقليدي أخذ مكانه الاتّصال الهاتفي عبر الإنترنت المعروف بمصطلح VOIP. ومع تزايد استخدام الإنترنت، باتت الشبكة تشكو من الاختناق الذي يؤدي إلى بطء شديد في استقبال المعلومات. لقد ارتكزت الإنترنت في الأساس على شبكات قائمة مُصممة لتبادل البيانات الرقمية والنصيّة؛ لا الأشكال والرسومات المتحركة والفيديو والموسيقى وخلافها. وكانت هذه أهم الأسباب التي أدّت إلى الانتقال إلى الجيل الثاني من الإنترنت. إنّ العمود الفقريّ للشبكة تُستبدل به حاليًّا كبول الألياف الضوئية، التي تزيد من سعة نقل البيانات بمعدّلات عالية للغاية. وتقوم الدول المتقدمة هذه الأيّام بتوصيل الألياف الضوئية إلى المنازل، توطئة لاستقبال خدمات الجيل الثاني من الإنترنت؛ وهي الخدمات التي ستختلف اختلافًا نوعيًّا عما عهدناه في شبكة الجيل الأول.

ثالثًا: تطوّر تكنولوجيا البرمجيّات

١:٣ تطوّر نُظُم التّشغيل

١:١:٣ التوسّع في مهمّات نظام التشغيل

برنامج نظام التشغيل Operating system هو الذي يوزّع طاقة وحدة المعالجة المركزية على المهمّات البرمجية المختلفة، وهو الذي ينقل الملفات من موضع إلى آخر. إنه ـ أي نظام التشغيل ـ «شرطيّ المرور» الذي ينظم حركة البيانات من وحدات الإدخال إلى الذاكرة، ومنها إلى وحدات الإخراج. وهو الذي يُحدّد أولويّة استخدام هذه الوحدات، إن تنازع عليها أكثر من برنامج أو مهمّة برمجيّة. وفوق هذا وذاك، فهو الذي ينظم العَلاقة بين الآلة ومستخدمها. بقول آخر، إن نظام التشغيل هو العبء الإداري Administrative overhead الذي يجب تحمُّله من أجل التحكم في موارد الحاسوب، وهو الرفيق الملازم لجميع التطبيقات التي تعمل تحت رعايته. وبناء عليه، فمن يسيطر على نظام التشغيل تكون له الكلمة العليا على كل من دونه من أصحاب برامج التطبيقات التي تعمل في كنفه. لذلك، كان لا بُد من أن يمثل نظام التشغيل منطقة ساخنة يتصارع عليها المتنافسون؛ وغالبًا يُسفر الصراع عن منتصر وحيد ونظام موحّد أو شبه موحّد Defacto standard.

إن نُظم التشغيل في عملية تطوّر مستمر. ففي حين كانت مهمته في البداية مقصورة أساسًا على التحكم في موارد الحاسوب ووحداته الطرفية وطريقة تفاعله مع المستخدم، نجد نظام التشغيل اليوم وقد تولّى مهمّات إضافية كانت تنهض بها فيما مضى برامج التطبيقات أو نظم أخرى متخصّصة. ومن أمثلة ذلك: قيامُ نظام التشغيل حالياً بتقديم خدمات شبكات نقل البيانات المحلية، والتعامل مع الإنترنت، والبحث في قواعد البيانات، وقراءة البريد الإلكترونيّ آليًا، وأخيراً قيامه بتوفير خدمات الاتصال الهاتفي عبر الإنترنت.

٢:١:٣ تطوّر لغة الآلة

غالبًا ما تُبرمج نظم التشغيل بلغة التجميع Assembly language، التي هي أقرب ما تكون إلى لغة الآلة، والتي تُعد أحد العوامل الأساسية في تحديد إمكانات الحوسبة من حيث نطاق تعليمات البرمجة والسرعة وكفاءة التعامل مع الذاكرة. أما قوة لغة الآلة ذاتها، فيحدّدها عرض مسار البيانات The width of the data bus، الذي تتدفق عبره نبضات البيانات بصورة متوازية. وتطوّرت نُظم الحاسوب ابتداءً من تلك التي يبلغ عرض مسار ناقل البيانات فيها ٨ بت، إلى أن وصل هذا العَرْض إلى ٣٢ بت في الحواسيب الشخصية المتوافرة حاليًا. إن عرض المسار المشار إليه يحدّد قدرة التعليمات على تنفيذ العمليات الحسابية والمنطقية؛ وكذلك العدد الكليّ للتعليمات الأساسية للغة الآلة، أو ذخيرة Repertoire لغة البرمجة، وَفْقًا للمصطلح الفني. وقد ظهر في أواخر ثمانينيّات القرن العشرين نوعٌ من المعالجات الميكروية يعمل بما يُعرف بنظام «المجموعة المختزلة لتعليمات الحوسبة Reduced Instruction Set of Computing (RISC)». وهو نظام يركّز على مجموعة صغيرة نسبيًا من تعليمات الآلة التي تُصمّم دارات المعالج الميكرويّ لها؛ بحيث يُنفّذ هذه التعليمات بصورة سريعة وبكفاءة عالية. إن معمارية المعالجات الميكروية من طراز RISC تحد من عدد التعليمات المدمجة فيها؛ إلاّ أنها تنفذ تلك التعليمات بسرعة عالية للغاية. أما التعليمات الأقلّ استخدامًا، فتنفّذ من خلال سلسلة من التعليمات المدمجة.

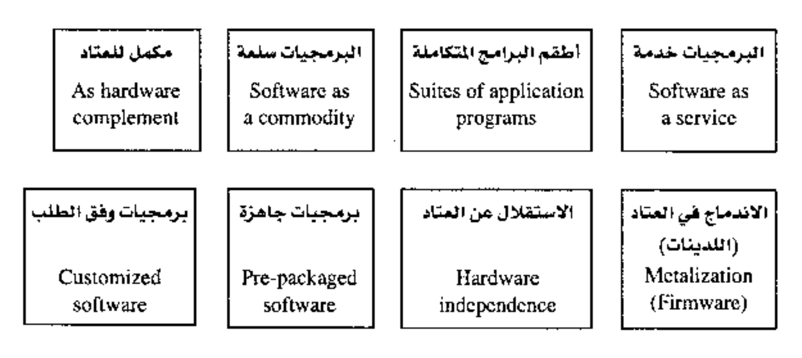
٣:١:٣ تطوّر واجهة التعامل مع المستخدم من حيث الشكل

كانت واجهة التعامل مع المستخدم تعمل في البداية على مستوى الحروف أو في طور النصوص Textual mode، كما يُعرف أحيانًا. ويعني ذلك أن الحرف هو أصغر وحدة للشاشة يمكن أن يتعامل معها مخطّط البرامج. وقد حَرَمَ هذا النظام المبرمجَ من النفاذ إلى الوحدة الصُّغرى لشاشة العرض التي يُقصد بها «النقطة Pixel». وحدثت النقلة النوعية في واجهة التعامل مع الشّكل Graphic User Interface (GUI). وأدّى ذلك إلى مرونة هائلة في التعامل مع الأشكال عمومًا، سواء كانت أشكال الحروف أو

الأشكال بصورة عامة؛ إذْ يمكن لهذا النظام القائم على وحدة النقطة أن يقوم بتصغير الأشكال وتكبيرها برمجيًّا، ونقلها بيُسر من موضع إلى موضع آخر عبر الشاشة، إلى جانب إمالة أوضاعها بأيّة درجة وفي أيّ اتّجاه، بعد أن كانت فيما مضى محصورة بين الوضعين الأفقي والرأسيّ.

٢:٣ تطور أساليب اقتناء البرمجيات

يلخص الشكل (٤) مسار تطوُّر أساليب اقتناء البرمجيات.



الشكل (٤) : مسار تطوُّر أساليب اقتناء البرمجيات.

١:٢:٣ البرمجيات باعتبارها مكمّلاً للعتاد

في المراحل الأولى من استخدام الحاسوب، كان مورّد العتاد هو نفسه الذي يقوم بتوريد البرمجيات في أغلب الأحيان. وكان هذا المورّد، ومثاله البارز شركة **آي بي إم**، يقدّم في الغالب حزمةً متكاملةً تشمل الحاسوب الضخم Mainframe ، ومكوّنات شبكة الاتصال ونظام التشغيل، وربّما أيضًا برامج التطبيقات.

واستمرّ الوضع نفسه تقريبًا مع ظهور الحاسوب المصغّر Minicomputer. فكانت شركة **ديجيتال**، رائدة صناعة الحواسيب المصغّرة، تقوم بتوريد عتادها مع نظام تشغيلها المعروف باسم MVS. إلا أن شريحة كبيرة من المستخدمين، خاصة في الجامعات ومعاهد البحث العلمي، تحوّلت من نظام MVS إلى نظام UNIX، الذي أصبح منافسًا

قويًّا لنظام التشغيل الذي يورّده مُصنِّع العتاد. وجاءت لحظة التّغيير الحاسمة حين أوكلت شركة **آي بي إم** إلى شركة **ميكروسوفت** مهمة تطوير نظام التشغيل الخاص بحواسيبها الشخصية. فكان ذلك بداية النهاية لسيطرة مصنّعي العتاد على البرمجيات. أما مطوّرو برامج التطبيقات، فقد أظهروا ولاءهم التّامّ لنظام التشغيل السائد ليضمنوا بذلك سوقًا كبيرة لتسويق منتجاتهم. وهكذا بسط صاحبُ نظام التشغيل جناحيْه: واحدًا يطوي تحته مصنّعي العتاد، والآخر يطوي تحته مطوّري برامج التطبيقات.

٢:٢:٣ برمجيات وفق الطلب

في بداية استخدام الحاسوب، كانت التطبيقات ـ ومعظمها تطبيقات إدارية وتجارية ـ تُنجز وفق طلب الزّبون بأسلوب «التفصيل» Customized software. وكانت تلك البرامج تُكتب عادةً إمّا بلغة التجميع Assembly language، أو بإحدى لغات البرمجة؛ مثل: فورتران، وبيسك، وكوبول، وما شابهها. ويعيب برمجيات «التفصيل» ارتفاعُ كلفة تطويرها، واعتمادها على الأفراد الذين قاموا بعملية التطوير؛ ما يجعلها عرضة للمخاطر في حال انتقال هؤلاء الأفراد إلى إماكن عمل أخرى؛ علمًا بأنّ عمالة البرمجيات عمالةٌ متطايرةٌ بمعدّل مرتفع للغاية من حيث قابليتها ورغبتُها في تغيير مكان العمل. ومن أكثر الأمور صعوبةً في برامج التفصيل تحديدُ احتياجات المستخدم، الذي يعجز في العادة عن تحديد مطالبه بدقة كافية؛ الأمر الذي يترتب عليه أن يُترك القرار، في كثير من الأحيان، لمصمِّم البرنامج الذي تعوزه في الغالب الدراسة الكافية لاحتياجات النظام وتفاصيل تشغيله. وهذا يؤدي بدوره إلى سلسلة من التعديلات، تصل أحيانًا إلى حد إعادة تصميم البرنامج من الصِّفر.

٣:٢:٤ البرمجيات سلعةً

بعد أن نضجت تكنولوجيا البرمجيات، كان لا بد لها من أن تدخل مجال التسليع

وإنتاج الجملة. وقد أظهرت البرمجيات قابليةً شديدة لهذا النوع من الإنتاج، نظراً لسهولة طبع أعداد كبيرة من نُسخ البرنامج باستخدام وسائل تكنولوجية سهلة. ولا ننسى هنا أنّ مفهوم إنتاج الجُملة في مجالات الصناعة نشأ أصلاً بعد ظهور الطباعة، التي تُعدّ فاتحة صناعات إنتاج الجملة بلا مُنازع.

وقد حقّق توجُّه تسليع البرمجيات نجاحًا هائلاً في مجال نُظُم التشغيل. ثم توسّع ليمتدّ إلى برامج زيادة الإنتاجية؛ كتنسيق الكلمات، ونظم قواعد البيانات، والبرمجة الجدولية، وبرامج تصميم الأشكال والعروض، وما شابه ذلك. غير أنه مع انتشار سلع البرمجيات، تفاقمت مشكلة قَرصَنَة البرامج وما صاحبها من جدل كبير ـ ما زال محتدمًا ـ بخصوص أمور الملكيّة الفكرية والهندسة العكسيّة في مجال البرمجيات.

٤:٢:٣ البرمجيات الجاهزة

أدّى انتشار التطبيقات الإدارية والتجارية، وسجلاّت الأفراد، ونظم المحاسبة، وما شابَهَها، إلى ظهور ما يُعرف بالبرمجيّات الجاهزة Prepackaged software في مجالات متعدّدة؛ من أبرز أمثلتها: نظم المرتَّبات، ومراقبة المخزون، وإدارة المشروعات، وما إلى ذلك. وتصمّم هذه البرامج الجاهزة بحيث يمكن تطويعها لبيئة الاستخدام المعينة لمن يقومون باقتنائها. وعادةً تسمحُ هذه البرامج بإدخال تعديلات طفيفة عليها، على شرط عدم المساس بالإطار الأساسيّ للبرنامج. لكن يعيبُ البرامج الجاهزة ما يمكن أن نطلق عليه الأعباء الإضافية للعمومية Generality overheads. ويُعزى ذلك إلى تصميم البرنامج، بحيثُ يلبّي نطاقًا عريضًا من بيئات الاستخدام وفئات المستخدمين. وهي الأعباء التي تتزايد في حالة ذوي المطالب المحدودة، الّذين لا يستغلّون من إمكانات البرنامج الجاهز إلا قسطًا زهيدًا.

٥:٢:٣ أطقم البرامج المتكاملة

مع انتشار تطبيقات البرامج التي يتمّ تسويقُها سلعةً منفصلةً قائمةً بذاتها، ظهر مفهوم طَقْم البرامج المتكاملة Suite، الذي تندمج في إطاره مجموعةٌ من البرامج ذات

الصّلة. ومن أكثر أمثلته شيوعًا طقمُ البرامج المتكاملة، الذي تندمج فيه برامجُ تنسيق الكلمات والبرمجة الجدولية، وبرنامج العروض، وبرنامج إدارة المشاريع. وهنالك أطقم متكاملةٌ في مجالات عدّة: من نُظُم المحاسبة والتكاليف إلى منظومة البرامج المتكاملة لأتمَتَة المصانع، التي تشمل برامج أنشطة التخطيط والتصميم والإنتاج والتسويق.

ويعيب نُظُمَ أطقم البرامج المتكاملة صعوبة الإضافة إليها. فذلك يتطلّب النفاذَ إلى التفاصيل الفنية الدقيقة للطريقة التي يجري بها التفاعل بين برامج الطّقْم المتكاملة؛ كما يستلزمُ معرفةً دقيقةً بالملفات المشتركة التي تتنافس عليها هذه البرامج. وفي سياق إعطاء الأمثلة، نشيرُ هنا إلى الصعوبة الشديدة التي واجهها كلٌّ من سعى إلى إضافة أدوات برمجية لتحسين التعامل مع اللغة العربية إلى طقم البرامج المكتبية من إنتاج شركة **ميكروسوفت**. إنّ فكرة أطقم البرامج المتكاملة تقوم أساسًا على مبدأ «خُذ البرنامج بأكمله أو اتركهُ بأكمله».

٦:٢:٣ الاستقلال عن العتاد

مَثَّلَ مفهوم استقلال البرمجيات عن عتاد الحاسوب ونُظُم تشغيله Hardware-software independence حُلمًا راودَ الكثيرين. وقد اعترضت تنفيذ هذا المفهوم صعوباتٌ جمّة في الماضي، لعدم توافر الحدّ الأدنى من التقييس Standardization؛ سواء على مستوى العتاد، أو نظم التشغيل، أو لغات البرمجة، أو مواصفات الملفّات أو بروتوكولات تبادُل البيانات عبر شبكات الاتّصال. ومع انتشار الإنترنت، تنامت الحاجة إلى تصميم برامج تعمل على تقديم خدمات المعلومات Servers؛ بحيث تكون مستقلةً تمامًا عن حاسوب المستخدم (أو الزبون Client)الذي يتعامل مع هذه البرامج. ووصولاً إلى هذه الغاية، خرجت إلى حيّز الوجود لغةُ البرمجة المعروفةُ باسم جافا Java. وصاحب ظهورها وضعُ الكثير من المقاييس Standards؛ سواء تلك الخاصة بتصميم واجهات البرامج User interfaces، أو

هيكلية البيانات المخزنة في الملفات، أو الطُّرق التي يجري من خلالها تبادل البيانات بين المواقع المختلفة على الإنترنت.

٧:٢:٣ البرمجيات خدمةً

مع انتشار استخدام الإنترنت، تزايد التوجُّهُ نحو تسويق البرمجيات بصفتها خدمةً لا سلعة. ويعني ذلك أن تكون البرامجُ الجاري تسويقُها متوافرةً في موقع الإنترنت العائد للشركة المورِّدة لها، بحيث تُستدعى من الموقع حسب الطلب، مثلما تُطلب المعلومات الأخرى من مواقع الشبكة. وقد شَرَعَتْ شركةُ **ميكروسوفت** بالفعل في اتخاذ الخطوات العملية لتنفيذ هذا التّوجُّه، ومن المتوقع أن يخصّص موقع لكلٍّ من البرامج الشّائعة الاستخدام؛ مثل برنامج تنسيق الكلمات WORD *(www.word.com)*.

يدّعي المنادون بتسويق البرامج عبر الإنترنت بصفتها خدمةً أنَّ هذا سوف يؤدي إلى انخفاض الكلفة بالنسبة إلى المستخدم النهائي؛ خاصة بالنسبة إلى من يستخدم البرنامج عدداً محدوداً من المرّات. ويضيفون أيضًا أنّ هذا النظام سيتيح للمستخدم أحدثَ النُّسخ المعدَّلة من البرنامج. وبالرغم مما لهذه الأسباب من وَجَاهة، فلا يمكن تجاهُلُ الدافع الحقيقي وراء تسويق البرامج باعتبارها خدمةً؛ وهو أنّه يجب أن يتوافر لصاحب البرنامج من خلال الإنترنت نوعٌ من الرقابة المركزية، تمكّنه من اقتفاء أثر مستخدمي برامجه أينما كانوا وملاحقة من تُسَوِّلُ له نفسه قَرصَنَتَها. علاوة على ما ينطوي عليه ذلك من خُطورةِ أن يفقد المستخدم سيطرَتَهُ على بياناتِه، التي أصبحت في قبضة الموقعِ مقدّمِ الخدمة.

٨:٢:٣ الاندماج في العتاد

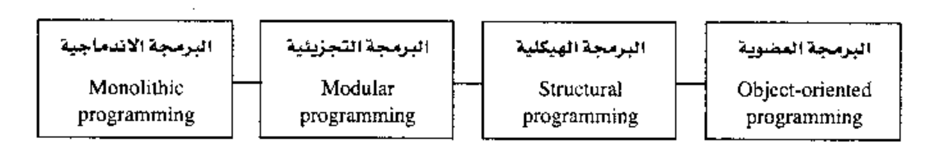
حلّت العناصر الميكروإلكترونية Microelectronic components محلّ العناصر الميكانيكية والكهربائيّة والإلكترونية في كثير من النظُم والمعدات والأدوات. وأدى ذلك إلى تقليل عدد المكوّنات وتخفيض الكلفة وتحسين الأداء. وإنّ نظرةً سريعةً داخل

جهاز التلفاز الحديث ومقارنته بما كانت عليه الحالُ في الماضي لهي خير دليل على البساطة التي أدت إليها الإلكترونيات الميكروية في اختزالها كثيراً من المكونات. وقد قامت رحلة الإحلال في مجال البرمجة الحاسوبية على أساس تولي البرمجيات الكثير من المهمّات التي كانت تُوكَلُ سابقًا إلى العتاد. وبعد فترة من استخدام البرمجيات والتأكد من سلامتها واستقرارها، تُحوّل أحيانًا إلى برمجيات ميكروية Microprogramming، أو ما يسمى «اللَّدينات Firmware» (أطلق عليها هذا الوصف لاتّخاذها موقعًا وَسَطًا بين ليونة البرمجيات وصلادة العتاد). بعد ذلك، يجري «دمغ» هذه البرمجيات الميكرويّة في الرقائق الإلكترونية لتصبح جزءاً مندمجًا من العتاد؛ وهي العمليّة المعروفةُ باسم «معدنة البرمجيات Metalization». ويحقق ذلك سرعةً أعلى في الأداء، وانخفاضًا في الكلفة. وهكذا، تتحقق السيولة التكنولوجية العالية خلال هذه الدورة لانتقال تنفيذ المهمّات الآلية من العتاد إلى البرمجيات، لترتدَّ إلى العتاد مرة أخرى. وللإيضاح، نعطي مثالاً على ذلك: بعد تطوير برنامج لقراءة الأرقام إلكترونيًا، يمكن تحويله من خلال البرمجة الميكروية إلى مُقابله اللدن، «ليُحرَق» (وفقًا للمصطلح التقني) في رقيقة إلكترونية صغيرة يمكن دمجها في قلم ضوئيّ يقرأ الأرقام مباشرة.

ومرة أخرى، لا شك في أنّ وراء هذا التوجه أيضًا دافعًا قويًا لحماية البرمجيات من القرصنة وجعل أمر هندستها العكسية من الصعوبة بمكان؛ بحيث لا يقدر عليها إلا أصحاب الخبرات التقنية المتعمقة. وهكذا تنضمُّ البرمجيات هي الأخرى إلى قائمة الصّناديق السّوداء.

٣:٣ مسار تطوُّر منهجيات تكنولوجيا البرمجيات

يوضح الشكل (٥) مسار تطوُّر منهجيات تكنولوجيا البرمجيات، الذي ينطوي على النقلات النوعية بين المنهجيات التي سنتناولها في البنود الآتية.



الشكل (٥) : مسارُ تطوّر منهجيات تكنولوجيا البرمجيات.

١:٣:٣ البرمجة الاندماجية

البرمجة الاندماجية Monolithic programming هي الأسلوبُ الذي شاعَ في بداية ظهور الحاسوب بغياب حدٍّ أدنى من المنهجية والأسس الهندسية لتطوير البرمجيات؛ سواء من حيث تصميم البرامج ووضع مواصفاتها، أو من حيث أساليب «تكويدها» Coding واختبارها وصيانتها. ففي ظلّ البرمجة الاندماجية، يمكنُ النّظرُ إلى البرنامج بصفته قائمةً مندمجة متصلة لتعليمات تنفيذ خطوات حلّ المشكلة (الجمل المكتوبة بلغة البرمجة) الموضوعة من جانب مخطّط البرامج، الذي له مطلق الحرية في التنقل من أي موضع إلى آخر في البرنامج؛ سواء كان هذا التنقّل مَشرُوطًا أو غير مشروط.

إن البرنامج الاندماجيّ كيانٌ معقّد يصعب تحليله، والكشف عن بنيته الداخلية، وتتبّعُ مسارات التشعب المتعدّدة التي تموجُ بداخله؛ وهو الوضع الذي يصعِّب كثيراً من اختبار البرنامج وتصويب أخطائه، أو إضافة مهمّات جديدة ينفّذها البرنامج. علاوةً على ذلك، فإن البرنامج الاندماجيَّ يحملُ معه عادةً كل ملفات البيانات التي يحتاج إليها من دون الأخذ بأسلوب المشاركة في الملفات، كما هي الحال في فصل البرامج عن قواعد البيانات التي تتنافس عليها هذه البرامج.

إن هذه الخَلطَةَ المتشابكة لتعليمات البرمجة الاندماجية جعلت عملية اختبار البرامج بصورة مكتملة ونهائية شبه مستحيلة، نظراً لاستحالة اقتفاء مسارات تشعُّب الكود داخل هذا الكيان المدمج؛ وهو الأمر الذي يجعلُ البرامجَ الاندماجية عرضةً لأخطاء لم تكُن في الحسبان. فما أكثر الحالات التي أدت فيها أخطاء تافهةٌ في البرامج إلى نتائج وخيمة؛ مثل: الحوادث القاتلة التي وقعت نتيجة خطأ برامج التحكم في بعض أجهزة العلاج بالأشعة، وإجهاض عمليات إطلاق مكوك الفضاء مرات عدّة، وأخيراً وليس

آخراً حالات الشلل التّامّ التي تصيب شبكات الكهرباء والاتصالات أحياناً! وعلاوةً على ما سبق ذكره، فقد أدّت البرمجةُ الاندماجية إلى خلق وضع غاية في الحرج بالنسبة إلى المؤسسة صاحبة البرنامج التي أصبحت تحت رحمة مخطِّط البرامج؛ الشخص الوحيد القادر على سبر أغوار برنامجه. أضف إلى ذلك أنَّ البرَمجة الاندماجية لا تُناسب مشروعات البرمجة الضخمة؛ فهي لا توفر الأسس التي تمكّن من توزيع حِملِ البرمجة الضخم على أفراد فريق التّطوير.

٢:٣:٣ البرمجة التجزيئية

تُعدُّ البرمجةُ التجزيئيةُ Modular programming الخطوة الأولى نحو هندسة عملية تطوير البرامج Software engineering. فقد وفّرت بعضَ الأساليب المنهجية لتجزئة البرامج الكبيرة إلى أجزاء أصغر تُربط معًا من خلال مسارات واضحة. وتُمكّن البرمجةُ التجزيئية من تطوير كلٍّ من أجزاء البرامج المختلفة على حدة؛ كما تتيحُ تدرج عملية اختيار النظام الأشمل من خلال اختيار مكوناته الفرعيّة التي تتضمن أجزاء برمجية مترابطة عدة. وقد صاحب التوجُّهَ التجزيئيَّ توسُّعٌ في استخدام أسلوب قواعد البيانات، التي سمحت باشتراك أكثر من برنامج في التعامل مع الملفات نفسها.

٣:٣:٣ البرمجة الهيكلية

بصفة عامة، يمكن القول إنّ البرمجة التجزيئية سمحت بتقسيم البرنامج إلى أجزاء أصغر. إلاّ أنَّ الأسلوب الذي طُوّرت به هذه الأجزاء ظلّ ـ كما كان ـ اندماجيّاً؛ ما ترك الحبلَ على الغارب لمخطط البرامج كي يطوّرها بالأسلوب الذي يَراهُ. وهذا هو النقصُ الذي سعت البرمجة الهيكلية Structural programming إلى تلافيه؛ حين ألزمت مخطّط البرنامج باتباع عدد محدود من أنماط البرمجة الأساسية، أو بعبارة أخرى نوع من الأبجدية البرمجية التي تحدد دخل كل من هذه الأنماط الأساسية وخرجَها، وتقيّد مسارات التفاعل بينها من خلال وضع ضوابطَ ملزمةٍ لتشعب الكود

من موضع إلى آخر، وذلك تحاشيًا لأن يصبح البرنامج مكتظًّا بالتداخلات التي تَصعُبُ محاصرتُها؛ أو مثل «طبق السباغيتّي» Spaghetti، كما يشبهون البرامج الاندماجية أحيانًا.

٤:٣:٣ البرمجة العُضويَّة

تمثّل البرمجةُ العضويةُ Object-oriented programming أرقى ما وصلت إليه هندسة البرمجيات. وهي تقومُ أساسًا على مبدأ «إعادة الاستخدام Reusability». فتُجمّع البرامج من مكوّنات برمجية سابقة التجهيز Component-ware، وتطوّر هذه المكونات البرمجية القياسية حيث يمكن ربطُها بالمكونات الأخرى؛ سواء من حيث البياناتُ التي تتعامل معها، أو من حيثُ المهمّات التي تقوم بتنفيذها والتي غالبًا ما تقتصر على مهمة واحدة دون غيرها. ويُجمّع البرنامج من هذه المكوّنات القياسية التي تتفاعل من خلال أسلوب صارم لتبادُل الرسائل أو الإشارات Messages switching فيما بينها؛ وهو أسلوبٌ أشبه ما يكون بذاك الذي تتفاعلُ من خلاله العناصر البيولوجية داخل الكائنات الحية عن طريق إرسال الإشارات (الرسائل) الكهْركيميائية واستقبالها. وهي الخاصية التي تفسر استخدام البرمجة العضوية بعضَ المفاهيم الوراثية؛ من قبيل توريث المتغيرات والبيانات والمهمّات، وتمكّن من دمج المكوّن البرمجيّ ضمن مكوّن برمجيّ أكبر يورّث الأصغر المتضمَّن بعضًا من صفاته وبياناته ونواتجه.

وهكذا، بدلاً من أن تصوغ البرمجيات نموذجها الاقتصاديَّ الخاصَّ بها، صارت تتبعُ النموذج ذاته الذي أفرزته الصناعةُ التقليدية. فصناعة البرمجيات تنتقل حاليًّا من إنتاج البرامج الكاملة إلى تجميع هذه البرامج من مكونات برمجية قياسية؛ تمامًا مثلما تُجمّع نظم العتاد من مكونات قياسية، كالمقاومات والرقائق الإلكترونية. لقد دخلت البرمجيات عالم إعادة التدوير Recycling أو إعادة الاستخدام Reuse؛ لتدخل بذلك عالم اقتصاديات الحجم Size economics من أوسع أبوابه. وتسعى المؤسسات

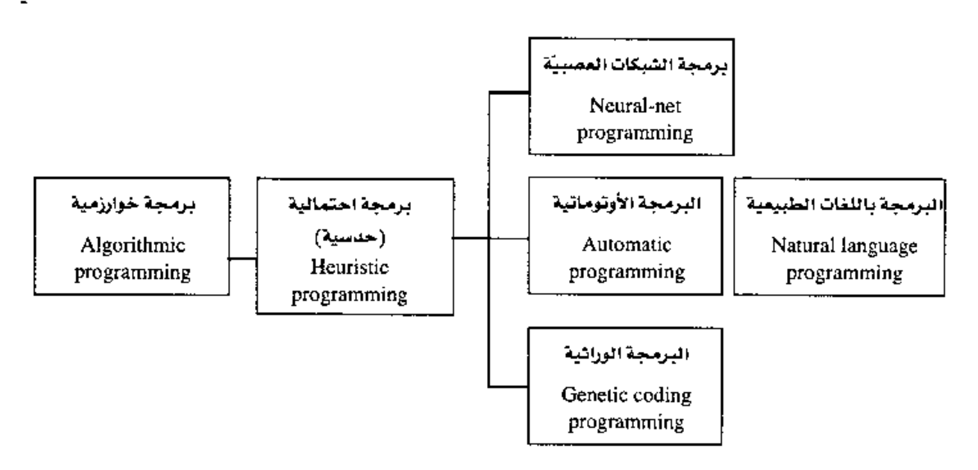
العملاقة حاليًا إلى احتكار صناعة البرمجيات من خلال تحويل عملية إنتاج المكونات البرمجية هذه إلى صناعة كثيفة التكنولوجيا ورأس المال.

ولا شك في أنّ هذا التوجه نحو إنتاج المكوّنات البرمجية سيسرّع من عملية تطوير برامج التطبيقات النهائية، وسيخفّض من كلفة هذا التطوير؛ علاوةً على احتياجه إلى مهارات أقل. وهذه الميزةُ الأخيرة هي أخطر ما ينطوي عليه التوجّهُ صوب المكونات البرمجية، الذي يعني ـ في جوهره ـ تفتيت مهارات البرمجة Deskilling؛ ومن ثمّ إبعاد مخطّطي برامج التطبيقات تدريجيّاً عن التفصيلات التقنية الداخلية، لتستحيل بذلك البرمجيات هي الأخرى ـ كما سبق وذكرنا ـ صناديق سوداء.

ويرتبط مع التوجّه صوب المكونات البرمجية ويتوازى معه توجه آخر صوب مزيد من التوحيد القياسي للمنتجات البرمجية وتكويد البيانات والپروتوكولات التي يتحقّق من خلالها تبادل المعلومات عبر شبكات الاتصالات. لقد أصبح معدل التطور التكنولوجي من السرعة؛ بحيث لا يسمح بوقت كاف لوضع المقاييس الجديدة واستقرارها. ويشهد الحاضر الراهن على أن المقاييسَ لم تعُد من صُنع المنظمات الحكومية والدولية؛ بل تُفرض في العادة على أساس مقاييس الأمر الواقع، التي يَسنّها صاحب المنتَج الأكثر شيُوعًا.

٤:٣ مسارُ تطور الصيغ الأساسية للبرمجة

مع التنوع الشديد في تطبيقات نظم المعلومات، وتزايد صعوبة المشكلات التي تتصدى لحلها، وتنامي انصهار تلك النظم في كيان المجتمع الإنساني، تطورت الصيغُ الأساسية للبرمجة Basic programming paradigms تلبيةً لمطالب حلّ هذه المشكلات. ويلخّص الشكل (٦) مسار تطور هذه الصيغ، ويليه استعراضٌ موجز لها.



الشكل (٦) : مسار تطور الصيغ الأساسية للبرمجة.

٣:٤:١ البرمجة الخوارزمية

البرمجة الخوارزمية Algorithmic programming نوع من البرمجة يتسم بالقطع ؛ فقد تبنّت ـ مضطرةً ـ منطق الرتبة الأولى لأرسطو ، الذي يعالج الأمور من خلال ثنائية الصواب والخطأ (نعم أو لا) . فهي تفترض أن كل دخل معين يُمَدّ به البرنامج يؤدي إلى توليد خرج محدد . إنها محاولةٌ لفرض الحلول على المشكلات القائمة ؛ أو بقول آخر : إنها لا تنطلق أساسًا من المشكلة ذاتها Problem-driven ؛ بل من منظور من يَحلّها .

٣:٤:٢ البرمجة الاحتمالية

لسنا بحاجة إلى أن نؤكد بصورة قاطعة عدم ملاءمة البرمجة الخوارزمية لكثير من مشكلات الواقع ، التي تتسمُ بالاحتمالية والتميُّع وعدم التحديد وتعدد بدائل الحلول ، وما شابه ذلك . وهو الأمر الذي أدى إلى ظهور نوع من البرمجة الاحتمالية Probabilistic يأخذ في الحسبان «المناطق الرمادية» ؛ سواء من حيث الدخل الذي يُغذي به البرنامج ، أو من حيث الخَرجُ المولَّدُ فيه بناءً على هذا الدخل . وقد استخدمت البرمجة الاحتمالية ـ ضمن ما استخدمت ـ الوسائل الاحصائية ، وكذلك المنطق

المشوَّش Fuzzy logic؛ علاوةً على تبنّي مفهوم الحدس فيما يعرف بأسلوب الحدسيات Heuristics، سعيًا للوصول إلى الحل أو أفضل النتائج من أقصر الطرق.

٣:٤:٣ برمجة الشّبكات العصبية الاصطناعية

تتكون الشبكات العصبية الاصطناعية Artificial neural nets من مجموعة من وحدات المعالجة الآلية البسيطة، لكل منها ذاكرة محلية صغيرة. وتُربط هذه الوحدات بقنوات اتصال أحادية الاتجاه من حيث طريقةُ عملها. فالشبكة العصبية هي آلية معالجة تعمل من خلال الأمثلة. ويُقصدُ بذلك تطويعُ الشبكة لبيئة المشكلة المراد حلُّها؛ وذلك بتمريرها خلال قائمة مختارة من أمثلة المُدخلات، مقرونة بالمُخرجات المتوقع أن تولدها هذه المُدخلات. وبعد تغذيتها بعدد كاف من هذه الأمثلة المنتقاة التي تمثل المشكلة رهن الحل، تكيف الشبكة نفسها تلقائيًا وَفْقًا لعينة الأمثلة هذه؛ وذلك بتحوير بنيتها وعَلاقاتها الداخلية، وتغيير ثقل العوامل الحاكمة في توجيه أدائها. إن الشبكة تقوم بعملية التكيف على أساس الانحياز للمُدخلات المتواترة العالية القيمة، على حساب المُدخلات غير المتواترة ذات القيمة المنخفضة. وتُواصلُ الشبكة رحلة تعلُّمها الذاتي من خلال الأمثلة، حتى تصل إلى درجة من الاستقرار تصبح معها قادرة على التعامل مع مُدخلات جديدة، لم ترد في العينة أصْلاً. وبهذا، تكون الشبكة قد أصبحت أداةً برمجية لحل المشكلة؛ دائمة التكيُّف مع ما يطرأ من تغيرات تُستوعب أوّلاً بأوّل، للوصول إلى حل نابع من المشكلة ذاتها، لا مفروض عليها من خارجها. وهو أسلوب أقرب ما يكون إلى الطريقة التي يتعلّم بها البشر، وينمّي بها المُخُّ البشري قدراته الذهنية.

٤:٤:٣ البرمجة الوراثية

منذ بداية الثمانينيات من القرن المنصرم، برزت البرمجة الوراثية Genetic coding مجالاً واعدًا للإسراع في عملية تطوير برامج الحاسوب بصورة أوتوماتيّة. وتجمعُ

البرمجة الوراثية بين الاستعارات البيولوجية التي استحدثها داروين في نظرية التطور (تحديداً : الانتخاب الطبيعي والطّفرات) وبين الطُّرق المختلفة التي توفّرها علوم الحاسوب في مجال التعلُّم الذاتي للحاسوب، من خلال ما يواكبُهُ من حالات وما يكتسبه من خبرات خاصة في مجال اكتساب الآلة القدرات اللغوية ذاتيّاً. إنّ البرمجة الوراثية تنتخب انتخابًا طبيعيًا مسارات الحلول ذات القدرة الأعلى على حل المشكلة. فهي تعمل على أساس التجاوب مع إشارات الدَّخل القوية وإحباط الضعيفة منها، وتطوير آلية الحل عن طريق طفرات تطرأ على هذه الآلية بعد تعرُّضها لحجم معين من الحالات التي تعتري المشكلة رهن الحل.

٥:٤:٣ البرمجة الأوتوماتيّة

مع تنامي الخبرات في مجال البرمجة، اكتشف الكثيرون أنّ بالإمكان أتمتة عملية تكويد البرامج ذاتها؛ أو على الأقل أجزاء كبيرة منها. وتستند فكرة البرمجة الأوتوماتية Automatic programming إلى وجود نظام آليّ يُغذّى بمواصفات البرنامج، مصوغةً وفقًا لقواعد محدَّدة؛ ليقوم النظام الآليّ بإخراج الكود المطلوب لتلبية هذه المواصفات. وقد طُبّق هذا المفهوم بصورة محدودة في نظم التشغيل التي طوّرتها شركة **ميكروسوفت**. فيُحدّد مخطط البرنامج - عن طريق شاشة حوار مع نظام التشغيل - مطالبه من حيث شكل الشاشة، والوظائف التي تقوم بها، وأسلوب التعامل مع المستخدم. وبناءً على ذلك، يُولّد نظام التشغيل الكود البرمجيّ المطلوب لتنفيذ هذه المهمّات. ولا شكّ في أنّ أسلوب البرمجة العضوية يمثّل عاملاً مؤثّرًا في التوسُّع في عمليّة أتمتة البرامج، باستخدام مكوّنات برمجية سابقة التَّجهيز.

٦:٤:٣ البرمجة باللغات الطبيعية

تمثل البرمجة باللغات الطبيعية Natural language programming الحالة القُصوى لأتمتة البرامج. ففيها يحدِّد المستخدِم مواصفات برنامجه بلغته الطبيعية، كاللغة

الإنجليزية أو العربية، من دون إلزامه باستخدام لغات خاصة مصممة لصياغة هذه المواصفات. وثمّة تحدّياتٌ جمّة تواجه البرمجة باللغات الطبيعية، في مقدمتها النطاقُ الواسعُ للتراكيب النحوية المتاحة لصياغة التعليمات باللغة الطبيعية، وكذلك ظاهرة اللَّبس اللغويّ؛ مثلما يحدث في حالة اللغة العربية نتيجةً لغياب التشكيل (الضبط بالحركات). وهو ما يسبب ظُهورَ حالاتٍ مركَّبة من اللبس الصرفيّ والمعجميّ والتركيبيّ.

رابعًا: تطوُّر تطبيقات تكنولوجيا المعلومات

٤:١ تصنيف تطبيقات المعلوماتية

انتشرت تطبيقات تكنولوجيا المعلومات في شتّى المجالات وعلى جميع المستويات: في المصانع والشركات، ومكاتب الإدارة، وفصول الدراسة، وغرف العمليات، وغرف المعيشة، وسفن الفضاء، وأدوات المطبخ. وعلى ما يبدو، فليس ثمّة حدود لتطبيقات هذه التكنولوجيا «السَّخيّة»، إلاّ حدود قدرات الإنسان المستخدم لها. ولم يَعُد السؤال المطروحُ: ما الذي نستطيع أن نفعله بها؟ بل: ماذا نختارُ منها؟

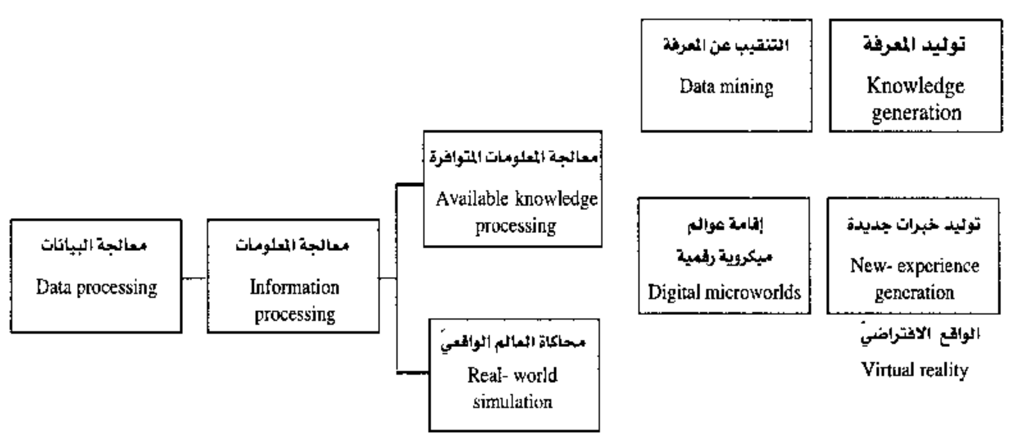
إنّ ما نسعى إليه هنا هو استعراضُ مسارات تطوُّر تطبيقات تكنولوجيا المعلومات، بدءاً باستعراض مسار هذا التطور من حيثُ طبيعةُ التطبيق؛ وذلك تمهيداً لاستعراض مسار تطور تطبيقات تكنولوجيا المعلومات في مجالات رئيسية عدة، رأى الكاتب أنّها تمثل أهمّ التوجهات الراهنة والمرتقبة. وهذه المجالات هي:

- وسائل زيادة الإنتاجية Productivity tools؛
- نظم البحث عن المعلومات Information search؛
- الذكاء الاصطناعي Artificial intelligence؛
- الترجمة الآلية Machine translation؛
- الرابوطيّات Robotics؛
- الوسائط المتعددة Multi-media؛
- الواقع الافتراضيّ Virtual reality؛
- المعلوماتية الحيوية Bio-informatics.

٤:٢ مسار تطوُّر تطبيقات الحاسوب من حيث طبيعةُ التطبيق

يلخص الشكل (٧) مسار تطور تطبيقات تكنولوجيا المعلومات من حيثُ طبيعة

التطبيق؛ ممثلاً في مجموعة من النقلات النوعية بين المراحل الآتية:



الشكل (٧): مسار تطور تطبيقات تكنولوجيا المعلومات من حيث طبيعة التطبيق.

٤:٢:١ تطبيقات معالجة البيانات

هي من أوائل تطبيقات الحاسوب وأبسطها من الناحية التقنيّة. ومن أمثلتها: حفظُ سجلات الأفراد، واستخراجُ قوائم المرتبات والكشوف الحسابية وحسابات العملاء، وما شابه ذلك. وتتسم هذه التطبيقات بضخامة حجم البيانات، وبساطة العمليات الحسابية التي تُجرى على هذه البيانات. لذلك، فهي لا تستغلّ في الحاسوب إلا طاقته الحاسوبية في التعامل السريع مع البيانات؛ بمعنى أنّها تستخدمه آلةً حاسبة Calculator هائلة من أجل «سحق الأرقام Number crunching»، وَفْقًا للمصطلح السائد.

٤:٢:٢ تطبيقات معالجة المعلومات

هنا يتجاوز النظام الآلي حدود التعامل الأوليّ مع البيانات، جمعًا وطرحًا وقسمةً وضربًا؛ إلى اكتشاف العَلاقات التي تربط بينها من أجل استخراج الكليات والمؤشرات والتحليلات الإحصائية. ومن أمثلة هذه التطبيقات: نظم المعلومات الإداريّة Management Information Systems (MIS)، وقواعد البيانات الببليوغرافية Bibliographical data bases لخدمة الباحثين العلميين.

٣:٢:٤ تطبيقات معالجة المعارف

في حين تمثل تطبيقات معالجة المعلومات مرحلة تطور طبيعيةً لتلك الخاصة بمعالجة البيانات، تُمثّل تطبيقات معالجة المعارف نقلةً نوعية ترتقي بها نظم المعلوماتية للتعامل مع المعارف؛ لا مع المعلومات المباشرة حَسْبُ. وشتّان بين المعرفة والمعلومات! فالمعرفة هي هذا المزيجُ الغامض بين المعلومات والخبرات والقدرة على الحكم. ومن أمثلة هذه التّطبيقات: النُّظم الخبيرة Expert systems لتشخيص الأمراض، وقراءة الخرائط والمخططات؛ ونُظُمُ معالجة اللغات الطبيعية، كنظم الإعراب الآلي والترجمة الآلية وغيرها. وترتكز هذه التطبيقاتُ على أساس معالجة معارف متوافرة بالفعل. فنظام تشخيص الأمراض يعتمد في قاعدة معارفه على خبرات كبار الأطباء ومعارفهم؛ في حين تعتمد نظم معالجة اللغات الطبيعية على المعارف اللغوية المتاحة.

٤:٢:٤ التنقيب عن المعرفة

بعد أن حققت المعلوماتيةُ قدرًا من النجاح في معالجة المعارف المتوافرة، راحت تسعى إلى التنقيب عن معارفَ جديدة تحاول استخلاصها من مناجم البيانات الرقمية، التي باتت متاحةً بعد توافر وسائط تخزين البيانات ذات السعة الهائلة. وهكذا، ظهرت إلى حيِّز الوجود تكنولوجيا التنقيب في مناجم البيانات Data mining، من أجل البحث عن مكامن المعرفة المستترة وراء ظاهر البيانات. ومن أهم تطبيقات التنقيب في مناجم البيانات تلك المستخدمة في اكتشاف الأنماط الجينية في النص الوراثي (الجينوم) للكائنات الحية. ويجري حاليًّا توسيع مجال التنقيب عن البيانات ليمتد إلى مجال النصوص، فيما يُعرف بالتنقيب في مناجم النصوص Textual data mining؛ وذلك بهدف استخلاص المعارف الكامنة في باطن النُّصوص من خلال تطبيق أساليب الاستنتاج المنطقي، وتتبع مسارات الترابط النصي Textual cohesiveness، والتماسك المنطقي Logical cohesion.

٥:٢:٤ توليدُ المعرفة

بعد التنقيب عن المعرفة، لم يبقَ أمام الآلة إلا توليدها. وفي هذا الصدد، نشير إلى نجاح الحاسوب في إثبات الكثير من النظريات الرياضية والهندسية؛ ما شجع البعض على السعي إلى استخدامه في اكتشاف معارفَ جديدة. ويحتاج ذلك ـ أول ما يحتاج ـ إلى إكساب الآلة القدرة على التعلم ذاتيًّا، وتزويدها بالأسس الإبستيمولوجية لتوليد المعرفة عبر أساليب الاستنتاج، والاستقراء، والتعلُّم بالاكتشاف، ومن خلال التجربة والخطأ، وما شابه ذلك.

٦:٢:٤ محاكاة العالَم الواقعيّ

لا يوجد سلاحٌ أمضى من تكنولوجيا المعلومات تُشهره البشرية في وجه ظاهرة التعقُّد الشديد الذي يعتري جميع مظاهر الحياة الحديثة، من أكبر نطاق جاهريّ (ماكروي) إلى أصغر عنصر مجهريّ (ميكروي). ومن أمثلة ذلك: أداءُ النظم الاقتصادية التي تتعامل معَ الكثير من المحددات والقيود والمتغيرات الدينامية، والمشكلات البيئية كالمتغيرات المناخية التي تحتاج إلى التعامل مع كمّ هائل من البيانات المتّسمة بسرعة التغيُّر وانتشار مصادرها جغرافيًّا؛ إضافة إلى تعقُّد التصميمات الهندسية وصعوبة الرقابة على المشروعات الضخمة التي تجمع الكثير من الأنشطة ومجموعات العمل. هذا على المستوى الجاهريّ. أما على المستوى المجهريّ، فحدِّث ولا حرج عن العمليات المعقدة للتفاعلات والعمليات الكيميائية والطبيعية والوظائف البيولوجية والفسيولوجيّة.

أمام كل هذه الظواهر المعقدة، على المخطِّط والمحلِّل والمقيِّم والمصمِّم أن يبحثوا عن الأمثل والأصلح والأصدق في ظلّ الكثير من القيود والمحدِّدات. وعليهم أيضًا أن يدرسوا أداء هذه النظم المعقَّدة الذي يستعصي على القواعد البسيطة للعلة والمعلول (أي السبب والمسبِّب)؛ لا بل يأتي أحيانًا دون المتوقع، ومتناقضًا مع الحسّ الطبيعي والمنطق المباشر أحيانًا أخرى.

وإلى جانب وسائل تحليل النظم والبيانات، وفرت تكنولوجيا المعلومات طُرقًا

عـمليـة لبناء نماذج المحـاكـاة Simulation، التي تتـيح لنا السـيطرة على الظـواهر المعـقَّـدة؛ وذلك من خـلال قدرة هذه النماذج على حـصر الجـوانب المخـتلفـة، وإبراز العوامل المؤثرة في تفسيرها.

لقد تطلبت ظروف حياتنا المعاصرة محاكاة الواقع من أجل دراسة كثير من الظواهر والمواقف التي تحتاج إلى استحضار أزمنة الماضي البعيدة. كما تحتاج أحيانًا إلى تسريع شريط الأحداث لدراسة الظواهر البطيئة التطوُّر كالتطورات الجيولوجية؛ وأحيانًا أخرى إلى إبطاء شريط الأحداث لمتابعة الظواهر السَّريعة التطوُّر التي تحدث في جزء صغير من الثانية، كعمليات الانفجار والانشطار النووي والاحتراق وما شابهها. وقد تطلبت هذه الظواهرُ والمواقفُ أيضًا أن نضع للمستقبل قائمة من السيناريوهات المحتملة تُزوِّد بها نماذج المحاكاة لتمدّنا بما يمكن أن تؤدي إليه هذه السيناريوهات من نتائج؛ فيتسنّى لنا تقييمُ خياراتنا، وتوقُّع ما يمكن أن ينجم من النكبات والكوارث، قبل أن تحلَّ بنا من دون أن تكون لدينا العُدّةُ الكافية لمواجهتها.

٤:٢:٧ إقامة عوالِمَ ميكرويّة رقميّة

من خلال تكنولوجيا المحاكاة والواقع الافتراضيّ Virtual reality، يمكن إقامة عوالمَ ميكروية رقمية قوامها الرموز؛ وذلك من أجل ممارسة التّجارب والخبرات قبل القيام بها في عالَمِ الواقع.

ومن أمثلة ذلك: التدريبُ على قيادة الطائرات، أو إجراء التجارب في المعامل الافتراضيّة؛ حيث يمكن للطالب التعرُّف إلى دقائق الذرات أوالجزيئات أو الجينات والتحليق في فضاء المجرات، والغوص في أعماق المحيطات؛ كما يمكنه أن يقلّص من حجمه، ليسري ـ على سبيل المثال ـ مع الدماء في رحلتها عبر مسالك الدورة الدموية. إضافة إلى ما سبق، تُستخدم تكنولوجيا الواقع الافتراضيّ في إقامة عوالم ميكروية أو حاضنات معرفة Knowledge incubators، كما تسمى أحيانًا، يمارس فيها الطالبُ حرية التعلم بالاكتشاف عبر التجربة والخطأ. وللحديث بقية في الفقرة ٤ : ٩ : ٢، التي تتناول أمثلة من تطبيقات الواقع الافتراضيّ.

٨:٢:٤ توليد خبرات جديدة

لم تعد لدى هذا العصر، الذي تتهالك فيه الخبراتُ بمعدل يفوق معدّل سرعة اكتسابها، رفاهيّةُ امتلاك الوقت لاكتساب هذه الخبرات عن طريق الأسلوب النمطيّ لثلاثية اكتساب الخلفية النظرية، فالتدرُّب العملي، فإتقان المهارات من خلال التكرار والممارسة في الواقع العمليّ. إضافة إلى ذلك، فإن تعقُّد الخبرات واتساع نطاق فاعليتها تجعل من ممارستها على أرض الواقع مباشَرَةً أمرًا لا يخلو من المجازفة في كثير من الأحيان؛ ناهيك عن الكلفة المباشرة وغير المباشرة لمثل تلك الممارسة. إن الواقع الافتراضيّ سيوفر لنا مجالاً عمليًّا لاكتساب الخبرات بسرعة، وتضييق الفجوة بين المعرفة وتطبيقها، ومن ثمّ جَسر الهُوَّة بين حقائق الواقع والوعي بها. فعلى سبيل المثال، سيسمح التدريب الافتراضيّ بأن يكتسب الجرّاحُ خبرة إجراء الجراحات الدقيقة، والراقص خبرة القيام بالحركات الصعبة، والمديرُ خبرة اتخاذ القرارات السريعة والحرجة؛ وذلك في بيئة تجريبيّة سمحة يقومون فيها بإجراء تجاربهم إلى أن يصلوا إلى درجة المهارة المطلوبة. لقد دانت لسيطرة الآلة ثلاثية البيانات والمعلومات والمعارف؛ وحان للخبرات، وليدة تطبيق المعارف والتفاعل المباشر مع الواقع، أن تخضع هي الأخرى لسيطرتها. وما إنْ ننجح في ذلك حتى يصبح بالإمكان تخزينُ خبرات البشر في بنوك للخبرات الحيّة، بدلاً من الاتكاء على قائمة من الوصايا يتركُها المحنَّكون لغير المجرِّبين.

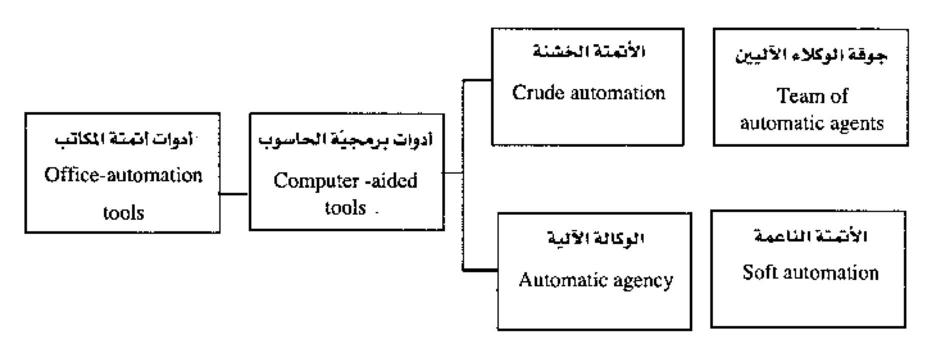
٣:٤ تطوُّر وسائل زيادة الإنتاجية

١:٣:٤ المقصود بزيادةِ الإنتاجية

يُقصدُ بها تنميةُ إنتاجية الموارد البشرية والمادية والطبيعية، كمًّا وكيفًا. ومن أمثلتها:

- زيادة إنتاجية عمال المصانع.
- زيادة إنتاجية موظّفي المكاتب.
- زيادة إنتاجية نُظُم التعليم.
- زيادة إنتاجية الموارد الطبيعية (كالأراضي الزراعية).

يلخص الشكل (٨) مسار تطوُّر زيادة الإنتاجية؛ ممثلاً في مجموعة من النقلات النوعية بين المراحل الآتية:



الشكل (٨) : مسار تطور وسائل زيادة الإنتاجية.

٢:٣:٤ أدوات أتمتة المكاتب

مع تزايد الشقّ الذهنيّ والمكتبيّ في مؤسسات الإنتاج والخدمات، أصبحت إنتاجية عمالة «الياقات البيضاء» عاملاً حاسمًا يتوقف عليه أداء المؤسسة باعتبارها كُلاً واحدًا. وظهرت نظم أتمتة المكاتب Office automation بهدف زيادة فاعلية التواصل بين موظفي المكاتب من جهة ومراكز الإدارة والفروع من جهة أخرى، وتسريع إنتاج الوثائق وتبادلها، وتسهيل عمليات حفظ السجلات واستخراج الكشوف وإعداد التقارير وضبطها. وقد تطوّرت هذه الأدوات لتشمل برامجَ النشر الإلكتروني ونُظُم الأرشفة الإلكترونية، ومنظّمات المعلومات الضخمة Hyper-organizations.

٣:٣:٤ أدوات برمجية بمعاونة الحاسوب

هنالك الكثير من الأدوات البرمجيّة بمعاونة الحاسوب لزيادة إنتاجية نظام التعليم وفئات المهنيين المختلفة. وفيما يخصّ إنتاجية نظام التعليم، كان الدافع إلى زيادتها عجز الوسائل التقليدية عن مواجهة التضخّم الهائل في المادة التعليمية وتنامي تعقُّدها؛ وكذلك تنوُّع المهارات المطلوبة. ويتوقع الكثيرون أن يكون لتكنولوجيا

المعلومات دورٌ حاسمٌ في تثوير عملية التعليم على صعيد الإدارة والمدرّسين والطلبة.

تشمل الأدوات البرمجية بمعاونة الحاسوب، على سبيل المثال لا الحصر:

- التصميم بمعاونة الحاسوب Computer-Aided Design (CAD)؛
- التعليم بمعاونة الحاسوب Computer-Aided Instruction (CAI)؛
- التعلُّم بمعاونة الحاسوب Computer-Aided Learning (CAL)؛
- الترجمة بمعاونة الحاسوب Machine-Aided Translation (MAT)؛
- هندسة البرمجيات بمعاونة الحاسوب Computer-Aided Software Engineering (CASE).

٤:٣:٤ الأتمتة الخشنة

يمكن القول إنّ هندسةَ التحكم تدرَّجت عبر مراحل عدة، وصولاً إلى الأتمتة الشاملة. فاستُخدمت الأتمتةُ الجزئية في البداية للسيطرة على أداء الآلات والمعدات، كالأفران وآلات الاختبار وأجهزة القياس؛ ثم أتمتةُ عمليات النظم الفرعية، مثل الدَّرْفَلَة واستخلاص المواد الكيميائية وطلاء المعادن والتحليل المعمليّ. وكانت هذه المراحل تمهيداً لتحقيق الأتمتة الشاملة، التي ترمي إلى ربط جميع أنشطة التصنيع في نظام متكامل مُتَّسق. ونبدأ هُنا بالأتمتة الخشنة. ويُقصد بها أنّ أداء النظام الأوتوماتيّ يكون محدداً مسبقًا من طرف مصمِّمه. ولا دخلَ للمستخدم في ذلك إلا في أضيق الحدود؛ إذ يقتصر دور المستخدم عادةً على اختيار طور، أو بديل، من بين خيارات عدة حُدّدت سلفًا من جانب المصمِّم. في ظلّ الأتمتة الخشنة، تُدمَج عناصرُ النظام المتحكَّم فيه في كُلٍّ منغلق يصعب فصله؛ وفي كثير من الأحيان يصعُب فهمه. وما إن يحدث خلل أو تستجدّ ظروف طارئة حتى تظهر مساوئ انغلاق النظام وعدم مرونته. فبمجرّد حدوث حُيود ـ مهما كان طفيفًا ـ يجد المشغِّل نفسهُ أمام كائن غامض يصعُب التكهُّن بتصرُّفه؛ ولا تُجدي في ذلك مصابيحُ الإنذار أو قراءات العدّادات أو تقارير المتابعة. فقد عزل المصمِّمُ المشغِّلَ عن فهم ما يجري داخل النظام؛ ولم يوفر له وسائل السيطرة عليه في حالات الطوارئ.

٥:٣:٤ الأتمتة الناعمة

مع ازدياد قدرة النُّظم الأوتوماتية واتّساع نطاقها لتشمل عملية الإنتاج برُمَّتها، اتجهت هذه النظم نحو الأتمتة الناعمة Soft automation، التي تتيح للمستخدم أن ينفذَ إلى دخائل النظام الأوتوماتيّ، ويوفر له الكثير من الوسائل لتوجيه أدائه وتسهيل إعادته إلى الوضع الطبيعيّ في حالة ظهور خللٍ أو تغيير مفاجئ. ويرجع الفضل في ذلك إلى نظم معلومات الإنتاج التي تعمل على نَحو يشبه عَمَل جهاز الأشعة السينية؛ فتكشف للمستخدم بصورة سافرة عن التفصيلات الداخلية لعمل الآليات المختلفة للنظام الأوتوماتيّ. إنّ نظامَ المعلومات يوزِّع «عيونه» الإلكترونية على مواضع الإنتاج المختلفة لتلتقطَ درجة الحرارة داخل الأفران والمفاعلات، وضغط الغاز داخل الأنابيب، وسرعة التوربينات، وجودة المنتجات، ومعدل تحميل الماكينات، وحجم هالك الإنتاج، وغير ذلك. ومن خلال هذا الكم الهائل من المعطيات الفورية، يعرض نظام معلومات الإنتاج الموقف على المستخدم في شكل واضح ومختصَر لا يشتت انتباهه بوميضِ مصابيح الإنذار، ولا بأكوام التقارير التي تسجِّل قراءات العدادات وتحليل الأداء.

إن الأتمتة الناعمة لم تصبحْ ممكنةً إلا بعد أن صار الحاسوب والعناصرُ الميكروية صُلْبَ عملية الأتمتة؛ فكل شيء غدا من الممكن تسجيلُهُ وتحليلُهُ وعرضُه. لقد أصبح الحاسوب المركزيّ على اتصال مباشر مع العناصر الميكرو إلكترونية وأجهزة الحاسوب التي تتحكم في كل عنصر فَرْعيّ من عناصر المنظومة الشاملة. وفي الوقت ذاته، أضحت جميع هذه العناصر قادرةً على تبادل المعلومات بصورة متجانسة. وهكذا، أمسى نظام الأتمتة الشاملة نظامًا يلمّ الشمل بين «أمخاخ» عدة موزَّعة هنا وهناك في آلات التصنيع، وسُيور التجميع، وأجهزة الرابوط، ومعدّات الاختبار، ومخازن قِطَع الغيار، ومكاتب التصميم. فَلِكُلٍّ «مُخُّه» الإلكتروني القادر على الحوار مع غيره.

٦:٣:٤ الوكالة الآلية

يُقصَد بالوكالة الآليّة Automatic agency تطبيق مفهوم «الرابوط» على البرمجيات ذاتها من أجل تطوير ما يُعرَف بـ «الرابوط البرمجي Softbot»، أو «الرابوط المعرفي

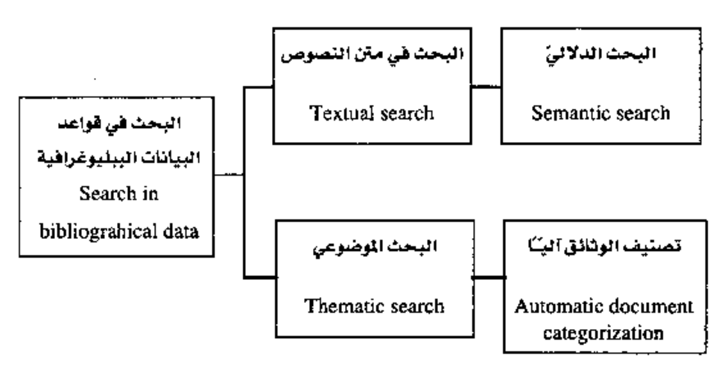
Knowbot» . ويحال إلى هؤلاء «الوكلاء الآليين» تنفيذ المهمّات المتكررة، والتعامل مع الحالات الروتينية . وقد كان من أبرز الدوافع وراء نموّ مجال الوكالة الآليّة : الإنترنت، وما صاحبها من ضرورة مسح الشبكة دوريّـًا للحصول على بيانات معينة وعرضها على المستخدم (صاحب التوكيل) بالأسلوب الذي يراه . وجديرٌ بالذّكر أنّ الوكيلَ الآليّ، أو الرابوط البرمجي الذكي، يجب أن يتوافر له قدرٌ من الاستقلالية يمكّنهُ من القيام بالمهمة الموكلة إليه .

٤:٣:٧ جوقة الوكلاء الآليين

تسعى نظم الوكالة الآلية إلى محاكاة ما يجري في ممالك النَّحل والنمل ؛ بمعنى أن تتكافل جوقّة من الوكلاء الآليين تعمل بروح الفريق لتنفيذ مهمة أو مهمّات معينة . إن جوقة الوكلاء الآليين ستجوب مواقع المعلومات : تنقب وتجمع وتستخلص وتتحاور فيما بينها، لتوزيع الأعمال وتوحيد الآراء وحشد الجهود؛ تمامًا كما يحدث في فرَق العمل البشرية . ويتطلب هذا الأمر تحليلاً دقيقًا لطبيعة عملية الاتّصال؛ سواء بين البشر، أو بين الآلات والوكلاء الآليين .

٤:٤ نُظُم البحثِ عن المعلومات

يلخّص الشكل (٩) تطوُّر نظم البحث عن المعلومات؛ ممثّلاً في مجموعة من النقلات النوعية بين المراحل الآتية :



الشكل (٩) : مسار تطوُّر نُظُم البحث عن المعلومات.

١:٤:٤ البحث في قواعد البيانات الببليوغرافية

ساد البحث في قواعد البيانات الببليوغرافية نظمَ استرجاع المعلومات في مراحلها الأولى. وتحتفظ قواعد البيانات الببليوغرافية بسجلٍّ لكل وثيقة يتضمن قائمة من البيانات المنمّطة Formatted عن هذه الوثيقة؛ مثل: عنوانها، ومؤلّفها، وسنة نشرها، وكلماتها المفتاحية؛ كما يتضمن أحيانًا ملخصًا موجزًا لها. ويجري البحث في قاعدة البيانات باستخدام هذه البيانات حسب عنوانها.

٢:٤:٤ البحث الموضوعي

يعتمد البحث الموضوعيّ Thematic search على تصنيف الوثائق يدويًّا، وَفْقًا لما يسمى المكنز أو شجرة الموضوعات Thematic tree، التي تشمل قائمة الموضوعات الرئيسية، مفرّعة إلى موضوعات فرعية في تسلسل متعدد المستويات؛ مثل: تفريع المعلوماتية إلى ثلاثة موضوعات رئيسية، هي العتادُ والبرمجيات وشبكات نقل البيانات؛ ثم تفريع العتاد إلى عتاد الحاسوب ووسائل إدخال البيانات ووسائل إخراجها؛ ثم تفريع عتاد الحاسوب إلى عنصر البناء الرئيسي ومعمارية بناء الحاسوب. ويجري البحث الموضوعيّ بالكلمات المفتاحية الدالة على الموضوع باستخدام لغة استفهام Query language، تسمح بأن يتضمن طلبُ البحث أكثر من شرط وأكثر من كلمة مفتاحية. ويتطلب البحث بالكلمات المفتاحية ضرورة التزام الباحث عن المعلومات بالكلمات المفتاحية كما وردت في المكْنز؛ وهو ما يعرف بأسلوب قائمة الكلمات المقيدة Controlled vocabulary. ومن أمثلة ذلك: إلزامه باستخدام كلمة «حاسوب» من دون السماح له باستخدام مرادفاتها، مثل كمبيوتر أو حاسب آلي أو حاسب إلكتروني. وللتخفيف من هذا القيد، ثمّة نظم استرجاع معلومات غير مقيّدة بمصطلحات المكانز Uncontrolled vocabulary. من جانب آخر، لا بد من أن تلتزم طلبات البحث بالقواعد النحوية للغة الاستفهام المشار

إليها، التي تتطلّب عادةً معرفةً معينة لا يُلمّ بها إلا المتخصصون في مجال البحث عن المعلومات. ولتحرير المستخدم من هذا القيد، هنالك محاولات عدة لاستخدام اللغات الطبيعية للبحث عن المعلومات، فيما يُعرف بواجهات قواعد البيانات باللغة الطبيعية Natural language database front-ends.

٣:٤:٤ البحث في متن النصوص

مع توافر وسائط تخزين البيانات الضوئية ذات السعة الهائلة، انتشرت قواعد البيانات المصدرية التي تخزّن النصوص الكاملة للوثائق؛ وليس فقط بيانات إشارية عنها، كما هي الحال في قواعد البيانات الببليوغرافية. وصاحب ذلك ظهورُ نظم البحث في متن النصوص Textual search، التي تتيح البحث عن كلمة معينة داخل النص، أو بضع كلمات متقاربة أو متباعدة.

٤:٤:٤ تصنيف الوثائق آليًا

مع تزايد عدد الوثائق الإلكترونية المتوافرة على الإنترنت، التي تنمو بمعدّلات أسّيّة، أصبحت محرّكات البحث التقليدية المتاحة عاجزة عن مواجهة هذا الكمّ الهائل من الوثائق بفهرستها يدويًا، كما هي الحال في الكثير من الأنظمة الحالية. وأدى ذلك إلى تطوير آلية لفهرسة الوثائق وتصنيفها موضوعيًا. وتعمل غالبيّة هذه النظم حاليًا على أساس إحصائيّ يعطي ثقلاً أكبر للمصطلحات أو التعابير الأكثر تواترًا داخل النّص، باعتبارها كلمات مفتاحية مرشحة لكشف مضمون الوثيقة.

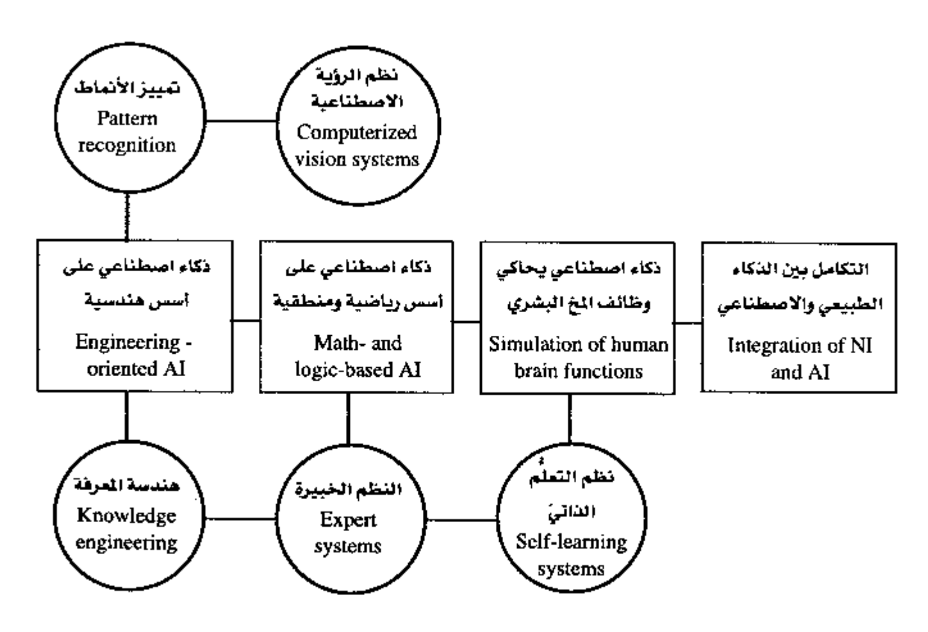
٥:٤:٤ البحث الدلالي

مهما كانت دقة الكلمات المفتاحية وعددها، فإنها تبقى عاجزة عن كشف مضمون الوثيقة. وخير شاهد على ذلك أنّ طلبات البحث في الإنترنت تستجلب في العادة عددًا

هائلاً من الوثائق لا يخدم معظمها هدف طالب البحث. إنّ البحث الدلاليّ يسعى إلى تجاوز البحث في ظاهر النصوص إلى البحث عن المفاهيم التي تنطوي عليها هذه النصوص. فمفهوم «الموت» مثلاً يمكن التعبير عنه لفظيّاً بطرق متعددة؛ مثل: أسلم الروح؛ رحل عن عالم الفناء إلى عالم البقاء؛ لفظ أنفاسه الأخيرة. وقد يصل الأمر إلى أن يُستنتج «الموت ضمنيّاً»؛ كأن يُقال، على سبيل المثال: «لقد عانى ورثة فلان أو أرملته»، من دون ذكر سافر لموت هذا الفلان. ويتطلب البحثُ الدلاليّ نظمًا آلية للفهم الأوتوماتي لمضمون النصوص؛ وهو ما تسعى إليه نظم الذكاء الاصطناعيّ في أيّامنا هذه.

٥:٤ تطوّر نُظم الذّكاء الاصطناعي

يلخّص الشكل (١٠) مسار تطور نظم الذكاء الاصطناعي؛ ممثّلاً في مجموعة من النقلات النوعية بين المراحل الآتية:



الشكل (١٠): مسار تطوُّر الذكاء الاصطناعي.

١:٥:٤ ذكاء اصطناعيّ على أُسس هندسيّة

بشّر عالم الرياضيات الإنجليزي ألان تورنغ، قبل ظهور الحاسوب بخمسة عشر عامًا، بإمكان تطوير آلات ذكية تستطيع أن تتكيّف تلقائيًّا من خلال استقراء الواقع الذي تتعامل معه. وهي النبوءة التي أخذها أهل الذكاء الاصطناعي وهندسة المعرفة على محمل الجدّ. فمضَوْا يُعلنون عن تطوير آلات تحاكي قدرة البشر الذهنية: آلات تبصرُ، وتسمع، وتحاور، وتفكر، وتحل المشكلات، وتبرهن النظريّات، وتؤلّف المقالات؛ بل تطرح الأسئلة، وتبتكر الجديد أيضًا.

تسرّع البعضُ حين تصوّروا أن هذه السرعة الهائلة وهذه القدرة الحسابية الكاسحة ووسائل التخزين ذات السعة العالية كافية لحل كثير من المشكلات. وترجعُ هذه النظريّة المُسرفة في تفاؤلها إلى اعتقاد خاطئ بأنّ الحاسوب بسرعته قادر على توليد جميع البدائل الممكنة Exhaustive enumeration لحل مشكلة ما، وإجراء المقارنة بين هذه البدائل وَفْقًا لمعاييرَ محددة؛ الأمر الذي سيؤدي لا محالة إلى التوصّل إلى حل المشكلة رهن الدراسة في آخر المطاف. في ظل هذا التصوُّر، تتحول مهارة لعب الشطرنج إلى عملية حصْر لجميع النقلات الممكنة والنقلات المحتملة التي يمكن أن يقوم بها الخصم؛ مع النّظر إلى الأمام عبر عدد محدود من النقلات التالية لكل وضع محتمل لرقعة الشطرنج. أما مشكلة الترجمة الآلية، فحلُّها يكمن في حصر جميع معاني الكلمات وأنماط تراكيب الجمل في اللغة المصدر Source language، والمعاني والأنماط المقابلة لها في اللغة الهدف Target language.

لقد اكتُشف سريعًا قصورُ هذه النظرية الميكانيكية عن حلّ المشكلات القائمة عبر حصر جميع البدائل الممكنة لها لسبب بسيط وجوهريّ، هو أنّ عدد هذه البدائل ينمو بمعدل متزايد للغاية يصل إلى أرقام يصعب علينا حتى تصوُّرها. فعلى سبيل المثال، يُقدّر عدد البدائل الممكنة للعبة الشطرنج بـ $١٠^{١٢١}$. أما عدد تراكيب الجمل، فيصعب حصره بأي طريقة رياضية أو عملية؛ فهي - أي تراكيب الجمل - لانهائية بحكم طبيعتها.

٢:٥:٤ ذكاء اصطناعيّ على أسس رياضيّة ومنطقية

الرياضيات والمنطق بلا شكّ وسائل أنيقة للغاية لاختزال تعقُّد الظواهر في صورة قوانين جامعة تَسْلس لها هذه الظواهر. والإحصاء، وإن كان أقلّ أناقة، هو الآخر وسيلة فعالة لتخفيف حدّة التعقُّد واستخلاص الجوهر؛ وذلك عبر تجنُّب الشارد ودمج التفصيلات في هيئة كُليّات ومتوسِّطات ومؤشِّرات. وقد أنشئت نظم للذكاء الاصطناعيّ لمعالجة اللغات الطبيعية باستخدام قواعد رياضيّة ومنطقيّة لتمثيل العَلاقات اللغوية المختلفة؛ كما استُخدم الإحصاء في النظم الآليّة للفهرسة والاستخلاص والترجمة وفهم الكلام.

لكنّ للرياضيات حدودَها؛ ليس فقط لوجود كثير من المشكلات التي لم تخضع للتّوصيف الرياضيّ بعد، وإنّما أيضًا لقصور جوهريّ نابع من داخل المنهج الرياضيّ ذاته. وهو ما أثبته كورت غودل في نظريته عن عدم الاكتمال الرياضيّ؛ حين أثبت أنّ هنالك دائمًا مشكلات تستعصي على الحلّ الرياضيّ، مهما بلغت قدرةُ الوسائل الرياضية المتاحة. وحين نزيد من قدرة هذه الوسائل، تبرز لنا مُعْضلات أخرى تتجاوز هذه القدرة. هذا عن الرياضيات. أما المنطق، فله حدوده هو الآخر؛ وقد ثبت عجزُ منطق أرسطو القاطع عن التعبير عن معظم المشكلات الواقعية، التي هي أبعدُ ما تكون عن القطع.

٣:٥:٤ ذكاء اصطناعيّ يحاكي وظائف المُخّ البشريّ

في جماعة الذكاء الاصطناعي مدرسة بأكملها تؤمن بأنّ من الممكن تطوير آلية ذكية تحاكي وظائف المخّ البشريّ دونما حاجة إلى محاكاة بنْيته، وذلك لقناعة بأنّ محاكاة هذه البنية ليست فقط مستحيلة؛ بل هي ليست مطلوبة في الأصل. وهنالك نظم عدة للذكاء الاصطناعيّ أقيمت على أساس محاكاة بعض وظائف المُخّ البشريّ؛ مثل: إعراب النصوص وفهمها وتمييز الأشكال.

يعتمد نجاحُنا في إكساب الآلة مَلكةَ الذكاء على مدى فهمنا لطبيعة البنى الرمزيّة

التي تتعامل معها آليات الحوسبة الطبيعية داخل الـمُخّ البشريّ. لقد رسخت في أذهان الكثيرين مقولة «اللغة مرآة العقل»؛ ما أدى بهم إلى عدّ اللغة الإنسانية مدخلاً أساسيًا لكشف النقاب عن الكيفية التي تعمل بها أنشطة المخ البشري، لغوية كانت أو غير لغوية. سندهم في ذلك أنّ النشاط اللغويّ يتميّز عن غيره من الأنشطة الذّهنيّة في إمكان حصره دخْلاً وخَرْجًا؛ فنحن ننطقُ المقولات ونسمعها، ونولّد العبارات ونفهمها، ونكتب النصوص ونقرأها. كل ذلك يتحقّق بصورة محسوسة يُمكن رصدها بدقة من نقطة بدايتها إلى نقطة نهايتها. وإذا قارنّا ذلك بنشاط ذهنيّ آخر، مثل الإدراك البصريّ، وجدنا أنّ الأخير يصعُب اقتفاء مساره دخْلاً وخَرْجًا.

٤:٥:٤ ذكاء اصطناعي يحاكي وظائف الـمُخّ وبنيته معًا

على النقيض من هؤلاء الذين يسعون إلى محاكاة وظائف المخ البشري من دون محاكاة بنيته، يرى فريقٌ آخر من أهل الذكاء الاصطناعي في ذاك التوجه نوعًا من قصور النظرة، سيتضح فشله إن عاجلاً أو آجلاً. وتتلخص وجهة نظر هؤلاء في أنّ السبيل الأنجع إلى تطوير آلات ذكية يكمن في التغلغل في بنية الـمُخّ البشريّ؛ فلا بديل عن محاكاة بنيته الشبكية بأقصى ما تسمح به رؤيتنا ووسائلنا. ويؤمن هذا الفريق بأنّ بحوث الذكاء الاصطناعيّ لا بد لها من أن تسير جنبًا إلى جنب مع علم فسيولوجيا الأعصاب وبيولوجيا الـمُخ. وقد أشرنا في الفقرتين ٣ : ٤ : ٣ و ١ : ١ : ٢ إلى الشبكات العصبيّة الاصطناعية وإلى معمارية الحاسوب، بصفتها مقدمات في سبيل محاكاة الـمُخ البشري.

٥:٥:٤ من المواجهة بين الذّكاء الطبيعيّ والذّكاء الاصطناعيّ إلى التّكامل بينهما

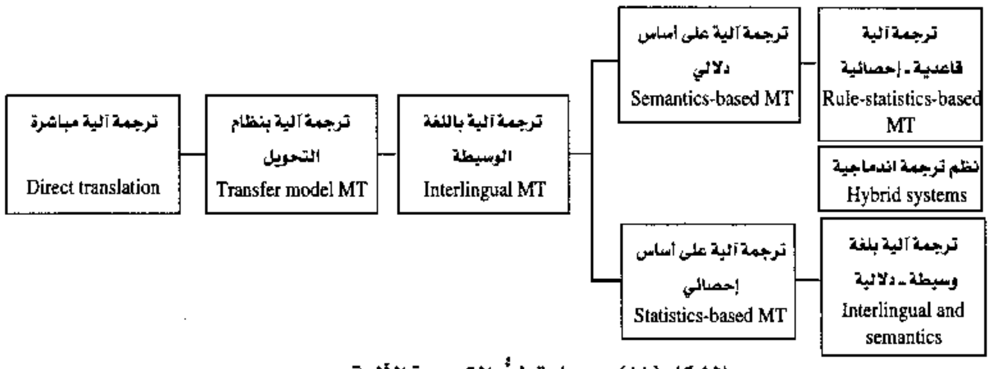
يميل الكثيرون إلى قبول فكرة أنّ الذكاء الاصطناعي يجب أن لا يناطح المخ البشري؛ بل يجب أن يتكامل معه. فما يُبْدع فيه الإنسانُ يصعب على الآلة أن تقوم به؛ وما تتفوق فيه الآلة يتخلّف فيه الإنسان. ومن أبرز الأمور التي يختلف فيها الإنسان عن الآلة: قدرة المخ البشريّ على إدراك الأشياء بداهة وبالحس العامّ أو المعرفة

الدارجة؛ كإدراكنا أنّ الأشياء الخفيفة لو سقطتْ لا تحدث صوتًا، وأنّ العين في مقدمة الرأس، وأنّ الدموع تتساقط في قطرات، في حين يتساقط المطر رذاذًا أو ينهمر سُيولاً، وأنّ احمرار الحديد السّاخن يختلف في مغزاه عن احمرار الخَدّ. هذه النوعية من المعرفة البدائية Naïve knowledge، على ما تبدو عليه من بساطة، هي التي يصعب على النظم الآلية حصرُها وتمثيلُها وتوظيفُها. وإن افتقدت الآلة الحسّ والطلاقة، فهي تتفوق في أمور أخرى ليست بالهيّنة. فهي لا تنسى مثل الإنسان، وتتفوّق على الإنسان بقدرتها على التعامل مع كم هائل من البيانات؛ علاوة على أنها لا تضجر، ولا تجأر بالشكوى، وتعمل في أيّ ظرف وفي أيّ وقت.

لقد رأى البعض في هذا التباين تكاملاً لا اختلافًا؛ وهو ما يوحي بتوزيع العمل بين الإنسان وآلته الذكية بما يتفق وقدرات كل منهما. وفي ظل هذا التقسيم، فإن الإنسان هو الذي يبتكر، ويتخيّل، ويتأمّل، ويتعامل مع الحالات الطارئة والاستثنائية؛ أما الآلة، فهي وسيلته للاستنتاج، والتحليل، وتمييز العلاقات، وربط العناصر، واختزان ما لا تستطيع ذاكرة الإنسان حملَهُ. وهكذا، تتحول نُظُم الذّكاء الاصطناعي إلى عنصر دعم وتعزيز للذكاء البشري. وربما يكون ذلك هو المخرج لتحرير البشر من المهمّات الذهنية الروتينية، لكي يفرغوا لما هو أسمى وأرقى، وحتى يتمكن الإنسان من إثبات ذاته من خلال الإبداع، غاية وجوده في العالم؛ بدلاً من تبديد طاقته الخلاّقة في القيام بالأشياء المُعادة والمُعتادة.

٦:٤ تطور نظم الترجمة الآلية

يلخص الشكل (١١) مسار تطور نظم الترجمة الآلية؛ ممثَّلاً في سلسلة من النّقلات النوعيّة بين المراحل الآتية:



الشكل (١١) : مسار تطوُّر الترجمة الآلية.

١:٦:٤ الترجمة الآلية المباشرة

عُرفت الترجمة الآلية بفشلها أكثر مما عُرفت بنجاحها. فقد جازف المغامرون ـ وأكثرهم من أهل الحاسوب ـ منذ عام ١٩٥٠ بإقحام الحاسوب قسْراً في مجال الترجمة؛ على الرّغم من عدم توافر العتاد المناسب ولغات البرمجة الملائمة، والأسس اللغوية اللازمة. وهو الأمر الذي أدّى بهم إلى إهمال شبه تام للجوانب اللغوية، نحواً ومعنى. ولم يكن أمام هؤلاء المغامرين إلاّ اتّباع أسلوب الترجمة المباشرة. ويقصد به الترجمة بأسلوب «كلمة مقابل كلمة»، باستخدام مُعجم ثنائي اللغة، مَعَ بعض الإضافات الشكلية البسيطة لضبط رُتب الكلمات داخل الجُمل وأشباه الجُمل؛ كأن توضع الصِّفة بعد الموصوف في اللغة العربية بعكس الإنجليزية، أو يُقدّم الفعل في الجملة الفعلية في العربية على عكس الإنجليزية، التي لا يتيح نَحْوُها إلا الجملة الإسمية.

استُخدم أسلوبُ الترجمة المباشرة في المحاولات الأولية للترجمة الآلية في بداية ستينيات القرن العشرين. وكما أسْلفنا، فقد باءت هذه المحاولات بفشل ذريع. ورأينا أن نشير إليها هنا لنؤكّد الكلفة الباهظة التي دفعتها، وسوف تستمر في دفعها، نُظُم الترجمة الآلية، إذا لم تأخذ الجوانب اللغوية بأعلى درجات الجدّية.

٢:٦:٤ التّرجمة الآليّة بنموذج التَّحويل

بعد الفشل الذّريع الذي مُنيت به الترجمة الآلية المباشرة، أدرك الجميع أنه لا يمكن تحقيق تقدّم حقيقيّ في هذا المجال من دون إيلاء الجوانب اللغوية الأهمية التي تستحقها. وفي منتصف السبعينيات من القرن المنصرم، تجدّد الأملُ ثانية، وعادت إلى الظهور مشروعات تطوير نظم الترجمة الآلية، بفضل الزيادة الهائلة في إمكانات الحاسوب عتاداً وبرمجيّات، والنقلة النوعية الهائلة في علوم اللّسانيات، وبناء قواعد البيانات المعجميّة؛ إضافة إلى قواعد ذخائر النصوص، التي مكّنتْ من توفير وسائل مبتكرة لبناء المعاجم الأحادية. وهكذا حلّت محلّ الترجمة المباشرة أنْهُج للترجمة الآلية أكثر اعتماداً على علوم اللّسانيات. ويعد نظام الترجمة الآلية بنموذج التحويل Transfer model أكثر النُّظم شيوعًا حاليّا. وتُنجز الترجمة في هذا النّظام عبر سلسلة الخطوات الأساسية الآتية:

• **تحليل جملة النص نحويًا**: يتحقّق ذلك من خلال ما يُعرف بنظام الإعراب الآلي Automatic parsing؛ فيجري«تفكيك» جملة اللغة المصدر إلى مكوناتها النحوية الأساسية (فعل - فاعل - مفعول - ظرف - اسم - خبر - جملة شرط - جواب شرط، وخلافه)، وكذلك إزالة لَبْس معاني الكلمات وَفْقًا للسياق الذي ترد فيه؛ كأن يُحدّد - على سبيل المثال - معنى كلمة «القانون» بمعنى«التشريع» في سياق مثل «انتهك القانون»، وبمعنى «الآلة الموسيقية» في سياق مثل «يعزف على القانون».

• **عملية التحويل**: تشتمل على شقّين أساسيين، هما: شقّ التحويل المعجمي Lexical transfer، وشقّ التحويل النحوي Syntactical transfer. يقوم الشقُّ الأول بربط معاني كلمات اللغة المصدر التي فُكّ لَبسها في مرحلة التحليل مع مقابلها في اللغة الهدف. ففي جملة بسيطة، مثل The table included many figures، يقوم شقُّ التحويل المعجميّ بالسِّلسلة الآتية من المقابلات المعجمية: جدول - table؛ يشتمل - include؛ كثير - many؛ رقم - figure. أما شقّ التحويل النحوي، فيتولّى أمر الفُروق اللغوية بين اللغة المصدر واللغة الهدف، من حيث رتبةُ الكلمات داخل الجمل، والعَلاقات فيما بينها؛ فتُحوّل الجملة الإنجليزية في المثال المذكور إلى جملة

فعلية، وتُعكس رتبة الكلمات في شبه الجملة "many figures" إلى «أرقام كثيرة».

• **عملية التوليد اللُّغويّ**: تقومُ بإخراج جملة المصدر التي حُوِّلت مُعجميّاً ونحويّاً إلى اللغة الهدف. فتُوضع الكلمات في صورتها التصريفية النهائيّة، وتُضبط أواخر الكلمات، وغير ذلك. ففي حين تقف عملية التحويل في الجملة السابقة عند تحديد figure بمعنى «رقم» وتحديد كلمة many بمعنى «كثير»، وأن كلتيهما في حالة «النصب»، تقوم عملية التوليد بإخراج كلمة «رقم» في صيغة الجمع المنصوبة (أرقامًا)، وكلمة «كثير» في صيغة المؤنث المنصوبة (كثيرة)حتى تتطابق مع موصوفها في صيغة جمع التكسير.

تقوم الترجمة الآلية بنموذج التَّحويل على أساس وجود آلية إعراب آليّ لكلّ لغة مصدر؛ وآلية توليد لغويّ لكل لغة هدف؛ وآلية تحويل لكل زوج من اللغات تجري الترجمة بينهما. فهنالك ـ على سبيل المثال ـ آلية تحويل للترجمة من الإنجليزية إلى العربية؛ وآلية تحويل أخرى للتّرجمة من العربية إلى الإنجليزية. بناءً على ذلك، يتضح لنا القصورُ الجوهريُّ الكامن في الترجمة الآلية بنموذج التحويل فيما يخصُّ تعدُّد اللغات. فإذا افترضنا ـ مثلاًـ نظامًا آليّاً ينهض بالترجمة بين ستّ لغات، وجدْنا أنه يحتاج بنموذج التحويل إلى ستّ آليات للإعراب الآليّ، وستّ آليات للتوليد اللغويّ، و«ثلاثين» آلية للتحويل بين اللغات الست؛ باعتبار كل منها لغة مصدراً تارة ولغة هدفًا تارة أخرى. وقد سعت إلى التغلُّب على هذا القصور نُظُم الترجمة الآليّة باللغة الوسيطة، التي سنتناولُها بإيجاز في الفقرة التالية.

٣:٦:٤ التّرجمة الآليّة باللغة الوسيطة

يُبْقي نظامُ الترجمة الآلية باللغة الوسيطة Interlingual على الفصْل بين اللغة المصدر واللغة الهدف فيما يخص آليات الإعراب والتوليد. أما الاختلافُ الجوهريّ، فيكمن في نظام التحويل؛ حيث تحل اللغة الوسيطة محل مجموعة آليات التحويل. ويُصاغ ناتج عملية الإعراب الآليّ وَفْقًا للُّغة الوسيطة التي تلتزم بها جميع آليات الإعراب

للُّغات المصادر المختلفة. وتقوم اللغة الوسيطة ـ بدورها ـ بتحويل هذا الناتج المنمَّط لآليات الإعراب إلى مقابل نمطيّ هو الآخر، تتلقفه آليات التوليد للُّغات الأهداف المختلفة المصممة للتعامل معه؛ وذلك من أجل توليد الجملة التي ترجمت.

ومن المتوقع ألا تكتفي الترجمةُ الآلية باللغة الوسيطة بتوحيد آليّات التحويل؛ بل ستسعى كذلك حتمًا إلى توحيد آليات الإعراب والتوليد، بحيث تلبي مطالب اللغات المختلفة. ونشهدُ حاليًّا محاولات ينهض بها أهل اللسانيات الحاسوبية لتطوير آليات إعراب وتوليد عامة لجميع اللغات. ويستند هذا النهج إلى النظرية اللغوية التي وضعها نعوم تشومسكي على أساس وجود «نحوٍ عامّ Universal grammar».

٤:٦:٤ الترجمة الآلية على أساس دلاليّ

إنّ كل ما استعرضناه من نظم الترجمة الآلية حتى الآن طُوّر من منطلق نحويّ، ينظر إلى عنصر «الدلالة» (أو المعنى) باعتباره تابعًا أو مكمّلاً فرعيًّا للمعالجة النحوية. ويَلقى هذا التوجه ذو «التمركز النحويّ» معارضة شديدةً من أهل «الدلالة» فيما يخصُّ «التنظير اللغوي»؛ ومن ثَمّ فهم نظم «الترجمة الآلية» ذات النهج النحويّ. فعملية الترجمة في جوهرها كما يراها هؤلاء الدلاليون ـ ولهم كُلُّ الحق في ذلك ـ هي نقلُ المعنى من اللغة المصدر إلى اللغة الهدف. لذلك، فكل محاولة للترجمة الآلية لا تتخذ من الدلالة منطلقًا لها هي عملية محكوم عليها ـ في نظرهم ـ بالفشل مسبقًا.

وحاليًّا يعكف المختّصون على إجراء بعض البحوث في مجال الترجمة الآلية على أساس دلاليّ. ولا يتسع المجال هنا للدخول في تفصيلاتها التقنية. لكنها ـ بإيجاز ـ تُبنى على أساس التحليل الدلاليّ لنصّ اللغة المصدر رهن الترجمة بصياغته في هيئة ما يُعرف بـ «الشبكة الدلالية Semantic net»، أو «مخططات المفاهيم Conceptual graphs»، التي تُحيلُ النّصّ إلى مجموعة من الأفكار الرئيسية والفرعية التي تترابط من خلال شبكة كثيفة من العَلاقات اللغويّة والموضوعيّة والمنطقيّة. وتقوم آلية أخرى،

تُعرف بـ «آلية الاستنتاج الأوتوماتي Automatic inference machine»، بالنفاذ إلى مضمون الشبكة الدلالية لإعادة ترتيب الأفكار والعَلاقات بما يتناسب ومطالب اللغة الهدف. وتُسلّم آلية الاستنتاج خرْجها إلى آليّة أوتوماتيّة أخرى لتوليد النُّصوص Automatic text generation، لتقوم ـ بدورها ـ بتحويل هذه الأفكار والعلاقات إلى جمل متعاقبة في سياق متّصل.

٥:٦:٤ التّرجمة الآلية على أساس إحصائيّ

تعتمد هذه النظم على الأساليب الإحصائية، وحلّ المشكلات التي تواجه عملية الترجمة الآلية القائمة على القواعد اللغوية؛ سواء النحوية منها أو الدلالية. وتقوم هذه النّظم بوظائفَ أساسية عدة، يمكن إيجازها على النّحو الآتي:

• تمييز الموضوع الرئيسي والموضوعات الفَرْعية التي تتناولها الوثيقة رهن الترجمة؛ وذلك باستخدام ما يُعرف بأساليب الفهرسة الآلية للوثائق Automatic indexing.

• إزالة لَبْس الكلمات، انطلاقًا من معرفة موضوع الوثيقة، باستخدام العلاقات بين الكلمات وتلازُم ورودها داخل النصّ ومعدل تكرارها. فإنْ وردت كلمة «عقد» ـ على سبيل المثال ـ مصاحبةً لكلمة «المورّد»، فهي بمعنى «اتفاق»؛ لا بمعنى «قطعة حليّ»، أو «فترة زمنية». أمّا كلمة «المورّد»، فهي بمعنى «القائم بالتوريد»؛ لا بمعنى «المَصْدَر».

• تمييز أنماط الجمل المختلفة في اللغة المصدر على أساس من القرائن السطحية في النّصّ؛ كأدوات الشرط، والأفعال الناقصة، وفواصل الجمل، والحروف، وأدوات النفي، وما شابه ذلك. ولتوليد المقابل لها في اللغة الهدف، يُختار هذا المقابل أيضًا بأسلوب التفضيل الإحصائيّ؛ حيث يُنتقى نمط اللغة الهدف الذي يتكرر استخدامُهُ مقابلاً لنمط اللغة المصدر؛ وهو ما يعرف بأسلوب «الترجمة من خلال الأمثلة».

• بناء المعاجم الأحادية للُّغة المصدر مباشرةً من ذخيرة النصوص الواردة فيها، والمعاجم الثنائية، باستخدام ذخائر النصوص الثّنائيّة اللغة، التي تُخزَّن فيها أعداد هائلة من النصوص المترجمة.

ونودّ أن نُشيرَ في ختام هذا العرض للأنْهُج المختلفة للترجمة الآليّة إلى بعض المحاولات التي تسعى إلى دمْج تلك الأنهُج في نُظُم هجينة، نذكر منها محاولات دمج النَّهْج التحويلي مع النَّهْج الإحصائيّ، والدمج بين نظم اللغات الوسيطة والنظم القائمة على أساسٍ دلاليّ.

٤:٧ تطوُّر الرابوطيات

يمثل الإنسانُ الآلي أو «الرّابوط» أحد إنجازات الأتمتة الدقيقة. وهو وليد التقاء الحاسوب، والإلكترونيات الميكروية، وهندسة التحكم، والبرمجيات. ومثْلَما تطور ذكاءُ الجنس البشريّ عبر العصور البيولوجية من صورته البدائية حتى ارتقى إلى صورته الحالية الراقية، تطوّر ـ ويتطور ـ ذكاء الآلة من أبسط الأدوات إلى أعقد النظم والآلات؛ وصولاً إلى الرّابوط العاقلِ العارف ذي الحواس الآلية المرهفة والقدرات الذهنية الاصطناعية الهائلة، التي تنموَ دومًا بفعلِ آليات التعلُّم الذاتيّ عبْرَ التفاعل المباشر مع الواقع.

وتمامًا كما توالت أجيال الحاسوب، توالت أجيالُ الرّابوط. فتطوّر رابوط الجيلِ الأول الغشيم، الذي يقوم بمهمة روتينية محددة، إلى رابوط الجيل الثاني الذي يمكن إعادة برمجته من أجل توسيع مجالات استخدامه والمهمّات التي يقوم بها. ثم جاء رابوط الجيل الثالث، المزوَّد بالكثير من وسائلِ التحكم بواسطة الحاسوب الذي يُمدُّه رابوط بوسائل التغذية الرّاجعة Feedback، التي تمكّنه من التكيف مع بيئة العمل وبحواس الرؤية الاصطناعية، ويُكسب أذرُعَهُ الآلية مرونةَ الحركة لتصل إلى ما تريد أن تمسك به، ويهب قبضة هذه الأذْرُع الحساسية الكافية حتّى يمكنها إمساكُ الجامد والتقاطُ الدقيق والترفُّق بالرّهيف واللّين. ويستمر التطوُّر في مشوار صعوده، سعْيًا إلى بناء روابيط قادرة على العمل بروحِ الفريق من خلال التواصُل فيما بينها. ولا يتوقَّفُ الأمْرُ عند هذا الحدّ؛ إذ يتمّ حاليًّـا تزويد الروابيط بالقدرات اللغوية والخلفية المعرفية لتتمكّن من التواصل الذكيّ مع رفاقها من أصحاب الياقات الزرقاء والبيضاء.

ويأتي علماء النفس ليصبّوا الزّيت على النار؛ حين يصدرون حُكْمَهم في عدمِ

جواز فصل المعرفة عن المشاعر المصاحبة لها. فأيقن أهلُ الذكاء الاصطناعيّ استحالة الفصل بين الذكاء الذهني والذكاء العاطفيّ. وهم يسعَوْن حاليّاً إلى تطوير روابيط تُظْهر العواطفَ. وتتأثر بالمواقف، وتعتصرها الآلام، بصرف النظر عما يقال عن ضحالة هذه المشاعر مهما ارتقت النظم الآلية. وثمّة من يتحدّثُ عن «الرّابوط القدّيس» المتفاني في خدمة غيره، بعد أن تخلّص من أنانية الإنْسان وزال عنه شعورُ القلق على بقائه. وهذا الرّابوط يمكن استنساخه في روابيط أخرى. والخلاصة أنّ هناك قناعةً لدى الكثيرين بضرورة كسر احتكار الإنسان مَلَكَةَ الذكاء. وغدا مستساغًا القولُ إنّ ثمّة أنماطًا متعددة من السلوك الذكي، وفضاءً متّسعًا من العقول؛ لا عقلاً واحدًا هو عقل الإنسان.

٨:٤ الوسائط المتعدّدة

ترتكز تكنولوجيا الوسائط المتعددة على أفكار محوريّة، هي:

- الرَّقمَنَة Digitization؛
- التشعُّب النّصّيّ Hypertext؛
- التشعُّب الوسائطيّ Hypermedia.

١:٨:٤ الرَّقْمَنة

من أهمّ إنجازات تكنولوجيا المعلومات إسقاطُ الحواجز الفاصلة بين أنساق الرموز المختلفة من نصوص، وأصوات، وأنغام، وصور ثابتة ومتحركة. ويرجع الفضلُ في ذلك إلى تكنولوجيا «الرّقمنة»، التي نجحت في تحويل هذه الأنساق الرمزية جميعها إلى سلاسلَ رقمية قوامها «الصفر والواحدُ»، كي تتواءم مع نظام الأعداد الثنائي، الذي هو أساسُ عمل الحاسوب. وتستند الرَّقمنة إلى مفهوم بسيط يتمثل في إمكان تحويل جميع أنواع المعلومات إلى مقابل رقميّ. فحروف الألفباء التي تُصاغُ بها الكلماتُ والنصوص يُعَبَّرُ عنها بأكواد رقمية تناظر هذه الحروف رقمًا

بحرف؛ والأشكال والصور تُمسح إلكترونيّـًا لتتحول إلى مجموعة هائلة من النّقط المتراصة والمتلاحقة. ويمكن تمثيلُ كل نقطة من هذه النقط رقميّـًا؛ سواء من حيث موضعُها، أو لونُها، أو درجَةُ هذا اللون. فبالنسبة إلى الموضع، يُعبَّر عنه بدلالة الإحداثيين السّينيّ والصاديّ، كما في الهندسة التحليلية؛ ومن ثَمّ يُمثّل رقميّـًا بقيمتي هذين الإحداثيين. أما بالنسبة إلى اللون، فيعبر عنه بكود رقميّ تغطي « باليتُهُ» جميع الألوان، وطيف ظلالها، ودرجةَ بريقها أو لمعانها. وتمثّل رقمنة الطيف الموجيّ للأصوات والكلام والموسيقى ـ مقارنة بما ذكر ـ أكثر أمور الرقمنة تعقيداً؛ إذْ يتسم هذا الطيفُ الموجيّ الحامل لهذه الإشارات المسموعة بدرجة عالية من عدم الانتظام. وتجري عملية الرقمنة عن طريق أخْذ عينات من هذا الطيف على فترات زمنية قصيرة فيما يعرف بأسلوب أخذ العيّنات Sampling، التي تمثل نمط التغير في شكل الموجة الحاملة لهذه الأصوات. وتمثّل هذه العينات رقميّـًا بالقيمة الكمية لاتساع الموجة، مقرونةً بزمن انتقائها.

وقد شبَّهَ البعضُ ما فعلته الرّقمنة في مجال أنساق الرموز بما فعلته الحرارة في صَهْر الفلزّات في سبائك مَعْدنيّة مختلفة. وهكذا خرجت إلى الوجود ثقافة الوسائط المتعددة Multimedia، التي يمكن أن تتعامل بيسر مع تلك «السبائك الرقمية»، لا تفرّق بين حرف وصوت، أو بين نصّ وشكل؛ فجميع أنساق الرموز استحالَتْ فيضًا متدفقًا من سلاسل «الصّفر والواحد» في أعلى درجات التّجْريد الرياضيّ والمنطقيّ.

٤:٨:٢ التشعُّب النّصيّ

يعد التشعب النصيُّ من أبرز الإمكانات التي وفرها الحاسوبُ في مجال التعامل مع النُّصوص، والتي يستحيل القيام بها يدويّـًا؛ أي من دون الاستعانة بالحاسوب. ويُقصد بالتشعب النصي إمكان التنقل من أي موْضع داخل النّصّ إلى أي موْضع آخر مرتبط به بأيّ نوع من العَلاقات التي تربط بين فقرات النصوص، والتي تشمل على سبيل المثال لا الحصر:

- علاقات لُغويّة؛

• علاقات منطقيّة؛

• علاقات زمانيّة؛

• علاقات مكانيّة.

لقد أحال التشعب النّصّيُّ النصوص إلى غابةكثيفة من عَلاقات الترابط التي تكشف عن بنية النّصّ من جانب، وتخلّص القارئ من خطية السّرد المتلاحق للنصوص المطبوعة من جانب آخر. إن التشعّب النصيّ، بالنظر إليه وسيلة للبحث داخل النصوص، يقترب من الأسلوب الذي يعمل به المخُّ البشريُّ؛ من حيث تداعي الذاكرة البشرية ذات القدرة الهائلة على التشعُّب والتفرُّع والتنقُّل السريع من مفهومٍ إلى آخر ومن معلومة إلى أخرى.

٣:٨:٤ التشعُّب الوسائطي

يمكن النظر إلى التشعب الوسائطيّ على أنه توسع في مفهوم التشعُّب. ففي حين يقتصر الأخير على العَلاقات داخل النص، يتجاوز التشعب الوسائطيّ النّصّ ليربطه بجميع أنواع الوسائط الأخرى، من أشكال، وأصوات، وموسيقى، ورسومات متحركة، وصور، وغيرها. إن التشعُّب الوسائطيّ يثير الكثير من المفاهيم والقضايا في عَلاقة أنساق الرموز المختلفة بعضها مع بعض: عَلاقة النُّصوص بالأشكال، وعَلاقة لغة الشكل بلغة الموسيقى ولغة السينما، وما شابه ذلك. وأخيراً، تجدر الإشارة إلى أنّ الوسائط المتعددة تمثل تكنولوجيا جامعة تتداخل تطبيقاتها في جميع المجالات؛ ما يجعل من الصَّعب تحديد تطبيقاتها أو مجالات تسويقها.

٩:٤ الواقع الافتراضي

١:٩:٤ الموجة القادمة لتكنولوجيا المعلومات

الواقع الافتراضي مفهوم آخر من تلك المفاهيم المثيرة التي أضافتها تكنولوجيا المعلومات إلى قاموس حياتنا المعاصرة. ويمكن النظر إليه على أنه بيئة اصطناعية لممارسة

الخبرات بصورة أقرب ما تكون إلى تلك الخبرات في دنيا الواقع. أما مثاله النمطيّ الشائع، فهو محاكي الطّيران Flight simulator، المستخدم في تدريب الطيارين على الطيران فوق الأرض، قبل تدريبهم في الجو. ولتكن نقطة بدايتنا في تقريب المفهوم إلى أذهان القراء أن نعقد مقارنةً بين نظام للتدريب على الطيران يعمل بأسلوب النظم الخبيرة ونظير له يعمل بأسلوب الواقع الافتراضي. يسجل النظام الخبير حصيلة تجارب الطيارين المخضرمين في الطيران، وكيفية تصرفهم في المواقف الطارئة والصعبة؛ وذلك من خلال صياغة ما يتخذونه في مثل هذه المواقف من إجراءات وقرارات في مجموعة من القواعد على نمط: «ماذا تفعل لو حدث هذا الطارئ أو ذاك؟». وتُخزّن هذه القواعد في قاعدة معارف Knowledge base، «يستشيرها» الطيار المتدرب عن طريق توجيه الأسئلة وتلقّي الإجابات. وشتّان بين قاعدة معارف الخبرات المسجّلة تلك وبين الإحساس الفعليّ بهذه الخبرات من خلال ممارستها عمليّـًا باستخدام محاكي الطيران، الذي يعمل بأسلوب الواقع الافتراضي. وهو ـ بصورة مبسَّطة ـ نظام أرضي يحاكي كلَّ ما يحدث في واقع الطيران؛ ما يضع الطيار المتدرب في بيئة أقرب ما تكون إلى الظروف العملية، التي سيواجهها في طيرانه الفعليّ. إن نافذة نموذج الطائرة في هذا المحاكي الافتراضي ليست زجاجًا عاديّـًا؛ بل شاشات عرض متصلة بحاسوب تُخزَّن فيه جميع بيانات الطائرة ومحرّكها، وكذلك مسارات الرحلات الجوية وطبيعة الأجواء وبيانات المطارات وممرات الهبوط والإقلاع وطرق الاقتراب منها. وفي أثناء تشغيل محاكي الطيران، يتوالى عرض الصور على شاشة النافذة بشكل ديناميّ يتغير وفقًا لوضع الطائرة وموضعها، ومعدل هبوطها أو صعودها، وتسارعها أو تباطُئها.

والآن، دعنا نتخيل نافذة محاكي الطيران هذه وقد تحولت إلى نظّارة مركّبة على خوذة متصلة بجهاز الحاسوب، يرتديها الشخص المتفاعل مع النظام. فبالطّريقة ذاتها، يتغير شكل ما يعرض على شاشة هذه النظارة مع تغيُّر حركة الرأس (وهو ما يناظر حركة الطائرة في مثال محاكي الطيران)، ليخيل لهذا الشخص وكأن العالم يتحرّك من حوله مع حركة رأسه، كما يحدث في الواقع. وتمثل هذه النظارة الفريدة، أو «الوهّامة»، بدايةً لصنع سلسلة من وحدات التفاعل والتعامل مع نظم الواقع

الافتراضي، التي تعمل بأسلوب المحاكيات الرقمية. وتشمل هذه السلسلة، بجانب الوهّامة، القفاز الحساس ذا الأسلاك الذي يرتديه المتعامل مع النظام، ليلمس أو يمسك به الكائنات الافتراضية، والحلّة الحساسة التي تنقل حركة جسده وأعضائه إلى النظام الذي ينقل بدوره إلى الحلة الحساسة ردود فعله؛ لتضغط حلّة البيانات ـ كما تسمّى أحيانًا ـ على مواضع جسده وعضلاته.

وبصرف النظر عن تعدد أشكال نظم الواقع الافتراضي وطرق التعامل معه، تظلّ الفكرة المحورية للتكنولوجيا الافتراضية هي مفهوم الشعور بالانغماس في تلك العوالم الصناعية المشيَّدة من الأرقام والرموز، وتعليق إدراكنا بعدم واقعيتها. ويتولّد الشعور بالانغماس بفعل ثلاثة عوامل متضافرة، هي: خداع الحواس، وتوليد الأشكال المجسمة الثلاثية الأبعاد، ورد فعل النظام ديناميّـًا مع حركة الرأس أو حركة العين أو حركة الجسد أو الأطراف أو الأصابع. أما تعليق الإدراك بغرض توهُّم الافتراضي كأنه حقيقيّ، فليس بالأمر العسير. فهو تجربة نفسية يمارسها الإنسان كثيراً عند مشاهدة الأفلام أو المسرحيات، أو قراءة الروايات، أو تقبل النوادر والمبالغات.

لقد أسقطت نظم الواقع الافتراضي الحاجز الرابع، لينفذ مستخدمها إلى ما وراء شاشة الحاسوب: يجوب عوالم الوهم؛ متحرّراً من قيود الجسد، وقيود قوانين الطبيعة، وقيود قوانين المجتمع. وفي هذه الحالة، لا عائق يمنعه من أن يخترق الحوائط، ويهوي من أعلى الشواهق ليرتطم بالأرض من دون أن يصاب بخدش، ويتجوّل داخل المفاعل النوويّ من غير أن تصهره حرارته العالية أو يبيده إشعاعه المميت. وكما يمكِّن الواقع الافتراضيُّ الإنسان من الإبحار في المكان، فهو يمكّنه أيضًا من التّجوال في أزمنة الماضي الغابرة، واقتحام أزمنة المستقبل القادمة، أو الخلط بينها فيما يُعرف بالخلط الزمنيّ Time scrambling.

إن تكنولوجيا الواقع الافتراضي ليست مجرّد تكنولوجيا جديدة؛ بل نقلة نوعية من مرحلة أساسها المعلومات إلى مرحلة أكثر تطوُّرًا أساسها نظم المحاكاة الرقمية. إنّها المعلومات وهي تعمل، وقد تجسدت في هيئة كائنات افتراضية تدفع وتلمس وتضغط، وقوى فعلية تجذب وتدفع، وأصوات تعلو وتخفت، وأضواء تتوهج وتخبو.

٢:٩:٤ أمثلة من تطبيقات الواقع الافتراضي

هنالك الكثير من تطبيقات تكنولوجيا الواقع الافتراضي، اخترنا منها هنا بعض الأمثلة ذات المغزى الثقافي؛ وهي:

(أ) **محاكاة واقع قائم:** ومن أمثلة ذلك: التدرُّب على قيادة المركبات، وإجراء التجارب في المعامل الافتراضية، حيث يمكن للطالب تعرُّف دقائق الذرّات والجزيئات والجينات، والتحليق في فضاء المجرات، والغوص في أعماق المحيطات؛ بل يمكنه أيضًا أن يقلّص من حجمه، ليسري - على سبيل المثال - مع الدماء في رحلتها عبر مسالك الدورة الدموية. وإضافة إلى ما سبق، تستخدم تكنولوجيا الواقع الافتراضي في إقامة عوالم ميكروية، أو حاضنات معرفة كما تسمّى أحيانًا، يمارس فيها الطالب حرية التعلم بالاكتشاف ومن خلال التجربة والخطأ.

(ب) **خلق عوالم من صنع الخيال:** لتحاكي، أو لتعيد بناء، ما ليس له مقابلٌ في عالم الواقع؛ كأن تحاكي عمليات التطور البيولوجيّ عبر العصور الجيولوجية، أو تعيد بناء قصر الرشيد في بغداد، أو تسترجع الطُّقوس الجنائزية في معبد الكرنك. ليس هذا حسْبُ؛ بل أيضًا أن نفارق عالم الماديّات لنقيم عوالم رمزية من أبجديات الأشكال والأرقام والمفاهيم وما شابهها، لتتجسد تلك المجردات أمام نواظرنا في حيوية دافقة، كاشفةً لنا أسرارها ومغازيها وعلاقاتها. وقد استخدم هذا الأسلوب الافتراضي الرمزيّ بالفعل لتجسيد تقلبات بيانات البورصة ومعاملاتها الكثيرة السريعة التغير.

(ج) **تعزيز حواسّنا وحدود قدراتنا الجسميّة:** فالواقع الافتراضي يمكن أن يمدَّنا - مثلاً - بعيون نرى بها الأشعة تحت الحمراء أو الأشعة فوق البنفسجية، وبآذان نلتقط بها ما هو خارج نطاق الذبذبات المسموعة، وبأطراف نصل بها إلى ما لا يُطال، وبأصابعَ دقيقة نحيلة نمسك بها الدقيق والمائع.

١٠:٤ المعلوماتيّة البيولوجية

تزايدت تطبيقات نظم المعلومات في البيولوجيا الميكروية والهندسة الوراثية، إلى

الحدّ الذي يمكّننا من عدّها فرعًا متخصّصًا قائمًا بذاته، هو المعلوماتية البيولوجية Bio-informatics، التي يمكن تحديد أهدافها الرئيسية فيما يأتي:

• استخدام قواعد البيانات للسيطرة على كمّ المعلومات الهائل، الذي تتّسم به التطبيقات البيولوجية.

• ابتكار طرق للبحث في قواعد البيانات البيولوجية من أجل العثور على أنماط معينة لسلاسل الحروف (الكود الوراثيّ) التي تناظر عادةً بروتينًا معيّنًا؛ سواء كان في جينوم الكائن الحيويّ، أو تفرزه الفيروسات التي تهاجمه. لقد تحوّل البحث في المعلومات البيولوجية إلى عملية «تنقيب» في مناجم البيانات تقوم أساسًا على تقنية تمييز الأنماط، الذي يعد أحد الفروع الأساسية للذكاء الاصطناعيّ.

• استحداث أدوية جديدة؛ وذلك باقتراح مضادات حيوية، أو مضادة لتلك التي تفرزها الفيروسات المسببة للمرض. إنّ الوصول إلى التركيبة الجينية لأدوية العلاج الوراثيّ تلك يحتاج إلى اختبار عدد ضخم للغاية من السلاسل الجينية، وصولاً إلى التركيبة الناجحة؛ ومن ثمّ اختبار مدى فاعلية هذه التركيبة في «تحييد» البروتينات التي تفرزها الفيروسات.

علاوةً على ما سبق، تساهم المعلوماتية البيولوجية في مجال تكنولوجيا المخ والأعصاب، وما تسعى إليه هذه التكنولوجيا البازغة من تعزيز المخّ برقائق أعصاب Neurochips؛ تعويضًا عما يفقد نتيجة الإصابة، أو التقدم في العمر، أو من أجل زيادة القدرات الذهنية، وتحسين السلالة البشرية (علم اليوجينيا Eugenics).

الفصل السّابع

الاتّصالات

أ. د. منصور إبراهيم ارشيد العبّادي



الاتّصالات

الأستاذ الدّكتور منصور إبراهيم ارشيد العبادي

مقدمة

حاول البشر في العصور الماضية تسريع نقل الأخبار فيما بينهم؛ لكنهم لم يوفقوا في ذلك. فكان أقصى ما حققوه أن استخدموا النار والدخان والطبول للإخبار عن وقوع بعض الأحداث المهمة؛ كما استفادوا من الحمام في نقل الرسائل. ومع اختراع الكهرباء في مطلع القرن التاسع عشر واستخدامها في أنظمة الاتصالات الكهْرَمغناطيسية، تمكن الإنسان من زيادة سرعة نقل المعلومات إلى أعلى سرعة كونية، وهي سرعة الضوء. فاستُخدم التلغراف عام ١٨٣٧ لنقل الرسائل المكتوبة، والهاتف عام ١٨٧١ لنقل الرسائل الصوتية. وتوالى بعد ذلك ظهور الأنواع المختلفة من أنظمة الاتصالات الكهربائية. لقد حققت أنظمة الاتصالات للبشر كثيرا من الأماني والأحلام التي كان مجرد التفكير بها يُعدّ ضربا من الخيال. فحطمت حاجز المسافات بينهم، وأصبحوا يتحدثون بالهواتف وهم متباعدون مئات بل آلاف الكيلومترات، ويتحاورون وجها لوجه من خلال الشاشات

التلفزيونية والهواتف المرئية، ويشاهدون للتو ما يقع في هذا العالم من أحداث من خلال مئات المحطات التلفزيونية، ويرسلون رسائلهم ومستنداتهم في ثوان معدودة من خلال أجهزة الناسوخ (الفاكس) والبريد الإلكتروني، ويطالعون الكتبَ والمجلات والصحف، وينجزون أعمالهم المكتبية ومعاملاتهم المالية والتجارية وهم في بيوتهم وأماكن عملهم من خلال شبكات المعلومات وشبكة الإنترنت. ولم يقتصر دور أنظمة الاتصالات على نقل المعلومات السمعية والمرئية والمقروءة؛ بل تعداه إلى تطبيقات بالغة الأهمية. فاستُخدمت هذه في أنظمة التحكم والقياس والمراقبة والاستشعار لنقل الإشارات بين مختلف الأجهزة والمعدات الموجودة في الطائرات والقطارات والصواريخ والمقاريب (التلسكوبات) الفضائية والأقمار الصناعية (السواتل) والمحطات الفضائية ومحطات الأرصاد الجوية والمفاعلات النووية والمصانع والمستشفيات. كما استخدمت في أنظمة الملاحة المختلفة؛ كالرادارات وأنظمة تحديد الموقع وأنظمة الاستهداء والتوقيت لتسهيل حركة الطائرات والسفن والقطارات والمركبات وتجنيبها الكثير من المشكلات، كالتصادمات والاختناقات والضياع. ومع تدني كلفة نقل المعلومات، نتيجة لاستخدام الألياف الضوئية والأقمار الصناعية، بدأت تظهر تطبيقات جديدة للاتصالات كالتعليم والتطبّب والعمل والتسوّق عن بعد؛ ما يجعل العالم قرية صغيرة، بحيث لا يكاد يحس الشخص بفارق المسافات التي تفصله عن الأشخاص والمؤسسات التي يتعامل معها.

إن تسمية هذا العصر عصرَ المعلومات لا تعود فقط إلى ضخامة كمية المعلومات التي أنتجها الفكر البشري في شتى ميادين المعرفة؛ بل أيضاً إلى السهولة البالغة في نقل المعلومات وتخزينها ومعالجتها، باستخدام أنظمة الاتصالات التي تنقل مختلف أشكال المعلومات بمعدلات عالية وبسرعة الضوء إلى أي مكان على الكرة الأرضية، وأنظمة الحواسيب والمسجلات السمعية والمرئية التي تعالج المعلومات وتخزنها وتظهرها بشكل إلكتروني، فيتحقّق الوصول إلى المعلومة المطلوبة في لمح البصر، بدلا من البحث البطيء في بطون الكتب والمجلات والصحف. ومَعَ أن ثورة المعلومات ظهرت مع ظهور التلغراف والهاتف في القرن التاسعَ عشر، وقفزت قفزة كبيرة بعد ظهور

الحواسيب في منتصف القرن العشرين، فإنها لم تصبح واقعا ملموسا إلا في بداية التسعينيّات؛ بعد ظهور شبكات المعلومات، خاصة شبكة الإنترنت التي مكنت المستخدمين من الوصول إلى مراكز المعلومات في شتى أنحاء العالم. واليوم يكاد لا يخلو منزل في العالم من أحد أجهزة إرسال المعلومات واستقبالها، كالهاتف والناسوخ والراديو والتلفزيون والحاسوب والمسجلات السمعية والمرئية التي يتدفق منها كميات ضخمة من المعلومات، التي تبثها آلاف المحطات الإذاعية والتلفزيونية، أو تنقلها شبكات الهواتف وشبكات المعلومات المختلفة. لقد أصبح عدد التلفزيونات والهواتف والحواسيب في أي مجتمع مؤشرا على تقدمه في مجال المعلوماتية. وبلغ المتوسّط العالمي لهذه الأجهزة في عام ١٩٩٩ لكل مئة شخص ٢٧ تلفزيونا و١٥ هاتفا و ٤ حواسيب. لكن الدول المتقدمة تستأثر بنصيب الأسد منها؛ إذ بلغ المتوسّط في أمريكا ٧٩ تلفزيونا و٦٠ هاتفا و ٣٠ حاسوبا؛ في حين بلغ في الدول النامية ١٨ تلفزيونا و ٥ هواتف وحاسوبا واحدا. وتنهض المعلومات اليوم بدور فعال في تقدم المجتمعات ورفاهيتها، وأصبح ما يُنفق على شرائها من مصادرها المختلفة في بعض الدول يُساوي كُلفة شراء الطعام. ففي أمريكا، على سبيل المثال، يدفع الفرد ١٥٪ من دخله لشراء المعلومات التي تشمل كلفة التعليم والكتب والمجلات والصحف وأجور المكالمات الهاتفية والقنوات التلفزيونية والإنترنت، وشراء أشرطة وأقراص السمعيات والمرئيات وألعاب الحاسوب واستئجارها.

إن ثورة الاتصالات والمعلومات لم تكن لتصل إلى ما وصلت إليه لولا مجموعةُ اكتشافات واختراعات أُنجزت على مدى قرنيْن من الزمن؛ كالكهرباء (١٨٠٠)، والتلغراف (١٨٣٧)، والهاتف(١٨٧١)، والموْجات الكهْرَمغناطيسية (١٨٩٠)، والمقسم الآلي (١٨٩١)، وأنبوب الأشعة المهبطية (١٨٩٧)، والصِّمَام الإلكتروني (١٩٠٦)، والتلفزيون (١٩٢٨)، والحاسوب (١٩٤٥)، والترانزستور (١٩٤٧)، والدَّارة المتكاملة (١٩٥٨)، والليزر (١٩٦٠)، والليف الضوئي (١٩٦٧)، والمعالج الدقيق (١٩٧١). ونهض الترانزستور بدور رئيسي في هذه الثورة، خصوصا بعد أن صُنّعت أعداد كبيرة منه على شريحة صغيرة من السيليكون بما يسمى

الدارة المتكاملة؛ الأمر الذي ساعد على تصنيع أجهزة إلكترونية ذات قدرات عالية وحجوم صغيرة وقليلة الاستهلاك للطاقة. لقد ارتبط تطوّر أنظمة الاتصالات والمعلومات ارتباطا وثيقا بتكنولوجيا الدارات المتكاملة. فلولاها لكان حجم الهاتف النقال بحجم خزانة كبيرة فيما لو صنع من الترانزستورات المنفردة؛ وبحجم غرف عدّة فيما لو صنع من الصمامات الإلكترونية. ووصل عدد الترانزستورات على الدارة المتكاملة الواحدة في نهاية القرن العشرين إلى ما يزيد على سبعة ملايين ترانزستور، بعد أن كان لا يتجاوز العشرة عند اختراعها. وإلى جانب الترانزستور والدارة المتكاملة، كان للتكنولوجيا الرقمية دورٌ بارزٌ في ثورة الاتصالات والمعلومات. فقد عملت على تحويل مختلف أشكال المعلومات إلى شكل واحد هو سلسلة من النبضات ذات المستويين. وهذا أدى إلى استخدام تكنولوجيا الإلكترونيات الرقمية باعتبارها تكنولوجيا موحدة لتصنيع أجهزة الاتصالات والمعلومات جميعها، واستخدام المعدات نفسها لنقل مختلف الإشارات الرقمية وتخزينها؛ كما أدّى إلى إرسال المعلومات لمسافات بعيدة وبمعدل أخطاء منخفض وإلى ضغط المعلومات إلى درجات كبيرة.

١. المعلومات: أنواعها وطرق تمثيلها

فضّلَ الله الإنسان على كثير من مخلوقاته بقدرته على التعلم والتفكير والكلام والعمل. وزوّده بحواس يستطيع بها جمع المعلومات من المحيط الذي يعيش فيه، وبعقل قادر على تخزين هذه المعلومات ومعالجتها، وبأعضاء قادرة على إخراجها بأشكال مختلفة، كالنطق والكتابة والتأشير والرسم والعمل. وبالرغم من الدور الكبير الذي نهضت به المعلومات في حياة الإنسان، فإنّه لم تُوضع معايير لقياس كمياتها إلا في الأربعينيّات من القرن العشرين؛ حين وضع العالم الأمريكي شانون الأسس الرياضية لما يسمى نظرية المعلومات. فبيّن أن كمية المعلومات في معلومة ما تتناسب عكسيا مع احتمالية حدوثها؛ أي أنه كلما زادت كمية المعلومات فيها قلّت احتماليتها. واستحدث وحدة لقياس المعلومات أسماها «بت». وتمثّل هذه كمية المعلومات المكتسبة عند وقوع حدث تبلغ احتماليته خمسين بالمئة. لقد ساعدت نظرية المعلومات العلماء

في إيجاد طرق وتكنولوجيات متقدمة لنقل مختلف أنواع المعلومات وتخزينها وتشفيرها وضغطها؛ ما أدى إلى مضاعفة كمية المعلومات المنقولة عبر قنوات الاتصال أو المخزنة في مُعَدّات التخزين، وإلى إمكانية إرسال المعلومات لمسافات شاسعة قد تصل إلى مئات الملايين من الكيلومترات، وإلى تقليل نسبة الخطأ في المعلومات المنقولة إلى مستويات متدنية. وقُسمت إشارات المعلومات إلى أربعة أنواع، هي: الإشارات السمعية، وتشمل جميع الأصوات التي تسمعها الأذن البشرية؛ والإشارات المرئية، وتشمل جميع المشاهد المتحركة التي يمكن للعين البشرية رؤيتها؛ والإشارات المقروءة، وتشمل كل ما هو مكتوب أو مرسوم أو مصوّر؛ وإشارات البيانات، وتشمل الإشارات التي تولدها الحواسيب وأجهزة القياس والتحكم والرادارات والمستشعرات.

تُمثّل المعلومات كهربائيا بتحويل الكمية الفيزيائية الحاملة للمعلومات إلى جهد أو تيار كهربائي، باستخدام أجهزة كالميكرفون وكمرة الڤيديو، اللذيْن يحولان شدة ضغط الهواء الناتج عن الصوت وشدة الضوء المنعكس عن المشهد إلى إشارات كهربائية. ويُطلق على هذه الإشارات الكهربائية اسم الإشارات التماثلية، لكونها تماثل إشارة المعلومات الأصلية؛ من حيث إنها تأخذ عند كل لحظة زمنية قيمة محددة من بين عدد لامتناه من القيم. ويُعدّ عرض النطاق، الذي تحتله إشارة المعلومات الكهربائية على طيف الترددات، مقياسا تقريبيا لكمية المعلومات التي تحملها هذه الإشارة. فعلى سبيل المثال، يبلغ عرض نطاق الإشارة السمعية الهاتفية أربعة كيلوهيرتز؛ في حين يبلغ في الإشارة التلفزيونية أربعة ميغاهيرتز؛ أي أن كمية المعلومات في الإشارة المرئية تساوي ألف مرة تلك التي في الإشارة السمعية. وبالرغم من بساطة أنظمة نقل الإشارات التماثلية، فإنّها معرضة للتلوث بشكل كبير بإشارات الضجيج التي يستحيل التخلص منها حال اندماجها معها؛ ما يحد من إمكانية إرسالها لمسافات بعيدة، بسبب تراكم إشارات الضجيج مع زيادة المسافة؛ إلى جانب صعوبة ضغطها لكي تحتل حيزا أقل في قنوات الاتصال ومُعَدّات التخزين، وعدم إمكانية استخدام الحواسيب الرقمية لتخزينها ومعالجتها.

التكنولوجيا الرقمية

استخدمت التكنولوجيا الرقمية لتمثيل المعلومات بعد اكتشاف نظرية «الاعتيان» عام ١٩١٥؛ حين تبين أنه يكفي لنقل المعلومات وتخزينها أخذ عينات من الإشارة التماثلية بمعدل يساوي، أو يزيد على، ضعفي أعلى تردد في إشارة المعلومات؛ ويمكن استرجاع إشارة المعلومات الأصلية بكاملها بتمرير العينات المأخوذة على مرشح تمرير منخفض. فعلى سبيل المثال، يكفي أخذ ثمانية آلاف عينة في الثانية لتمثيل المكالمات الهاتفية؛ في حين يلزم أخذ عشرة ملايين عينة في الثانية لتمثيل الإشارات التلفزيونية. ولتمثيل المعلومات رقميا، تُحوّل قيم العينات المأخوذة إلى شيفرات ذات أطوال محددة مكونة من سلسلة من الأرقام الثنائية، وهي الواحد والصفر؛ ويطلق اسم بت على خانة الرقم الثنائي. وكلما زاد عدد البتات في شيفرة التمثيل، زادت دقة تمثيل هذه المعلومات. وتكفي شيفرة بطول ثماني بتات لتمثيل المعلومات في عينات الإشارات السمعية والمرئية. وعليه، فإنه يكفي لإرسال الإشارات السمعية وتخزينها أربعة وستون ألفَ بت في كل ثانية؛ وما يزيد على ثمانين مليون بت في كل ثانية في الإشارات المرئية. ولإرسال الإشارات الرقمية وتخزينها، تُحوّل إلى نبضات كهربائية أو ضوئية ذات مستويين: أحدهما يمثل الرقم واحد، والآخر يمثل الرقم صفر؛ وذلك باستخدام الدارات الإلكترونية الرقمية التي يعمل فيها الترانزستور كمفتاح بسيط يقوم بفتح الدّارات الكهربائية وإغلاقها. لقد أحدث التحول من النظام التماثلي إلى النظام الرقمي ثورة في طرق توليد المعلومات ونقلها وتخزينها ومعالجتها؛ إذ تتميز الإشارات الرقمية بمقاومتها العالية لإشارات الضجيج بفضل تعاملها مع مستويين للجهد، مقابل عدد لامتناه من المستويات في الإشارات التماثلية، وبسهولة تصميم الدّارات والأجهزة الرقمية وتصنيعها، وسهولة استخدام المعدات الرقمية نفسها، خاصة الحواسيب، للتعامل مع مختلف أنواع إشارات المعلومات التي أصبحت تأخذ الشكل نفسه، وهو سلسلة الأصفار والآحاد. وهذا أدى إلى اندماج تكنولوجيا الاتصالات وتكنولوجيا الحواسيب في تكنولوجيا واحدة. وتتميز الإشارات الرقمية أيضًا بقابليتها الكبيرة للضغط، بسبب سهولة التخلص من المعلومات المكررة فيها؛ ما

قلل كثيراً من الحيز الذي تحتله هذه المعلومات على قنوات الاتصال وذاكرات الحواسيب. أضف إلى ذلك سهولة تشفيرها وتمويهها؛ الأمر الذي قلل بدوْره كثيرا من التنصت والسطو على المعلومات.

٢. منعطفات تاريخية في تطور أنظمة الاتصالات والمعلومات

تمكن الإيطالي ڤولتا في عام ١٨٠٠ من تصنيع أول مصدر مستمر للطاقة الكهربائية (البطارية). واكتشف الهولندي أورستد بالصدفة عام ١٨٢٠ أن التيارات الكهربائية تنتج مجالات مغناطيسية حولها. وهذا حدا بالعالم الفرنسي أمپير إلى دراسة هذا الاكتشاف، ووضع القوانين الأساسية لظاهرتي الكهربائية والمغناطيسية. وتمكن الأمريكي هنري من استغلال الكهرباء في عدد كبير من التطبيقات، أهمها المغانط والملفات الكهربائية؛ في حين تمكن الإنكليزي فَرادي عام ١٨٣١ من اختراع المولد الكهربائي، الذي يحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية؛ والمحرك الكهربائي، الذي يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حركية. لقد أدى اكتشاف الكهرباء المتحركة إلى اختراع التلغراف عام ١٨٣٧ على يد الأمريكي مُورْس، وإلى اختراع الهاتف عام ١٨٧١ على يد الأمريكي غراهام بل. أما الموْجات الكهْرَمغناطيسية، فيعود الفضل في اكتشافها إلى الفيزيائي الاسكتلندي ماكسويل، الذي صاغ عام ١٨٩٠. جميع القوانين المتعلقة بالكهربائية والمغناطيسية في أربع معادلات تفاضلية، تنبأ من خلالها بوجود هذه الموْجات. فتحققت نبوءته على يد الفيزيائي الألماني هيرتز عام ١٨٩٠. واستخدم الإيطالي ماركوني هذه الموْجات في إرسال أول تلغراف لاسلكي عبر القنال الإنكليزي عام ١٨٩٩، وعبر المحيط الأطلسي عام ١٩٠١.

وفي عام ١٩٠٤، اخترع الفيزيائي الإنجليزي فلمنغ الصِّمَام الإلكتروني الثنائي؛ في حين اخترع المهندس الأمريكي دي فورست الصمام الثلاثي عام ١٩٠٦. واستُخدم هذان الصِّمَامان في بناء الدارات الإلكترونية الأساسية، كمُولِّد الذبذبات ومُضخِّم الإشارات، التي مكّنت المهندسين من إجراء أول مكالمة هاتفية سلكية بعيدة المدى عام

١٩١٠ ، وأول مكالمة لاسلكيــة بين بريطانيــا وأمــريكا عــام ١٩١٣ . وأدت الدارات الإلكترونية أيضا إلى ظهور أنظمة البث الإذاعي عام ١٩١٨ ، والبث التلفزيوني عام ١٩٣٥ . وفي عام ١٩٤٧ ، اختُرع الترانزستور بديلا للصمام الثلاثي ، وتميز عليه بصغر حجمه وصلادته وقلة استهلاكه للطاقة . لذلك ، فقد حل محله في معظم الأجهزة الإلكترونية ، التي أصبحت أصغر حجما وأقل استهلاكا للطاقة ؛ وساعد في تصنيع أجهزة ومُعَدّات إلكترونية لم يكن بالإمكان تصنيعها باستخدام الصمامات ، كالتلفزيونات الملوّنة والمسجلات والراديوات الجيبية والحواسيب والحاسبات اليدوية والهواتف الخلوية . ومع تزايد عدد الترانزستورات في الأجهزة الإلكترونية ، أصبح الحيز الذي تحتله أسلاك التوصيل عائقا أمام تصنيع أجهزة أكثر تطورا وأصغر حجما . لذلك ، برزت فكرة تصنيع دارات كهربائية كاملة على شريحة صغيرة من السيليكون ؛ فصُنعت عام ١٩٥٨ أول دارة متكاملة ببضعة ترانزستورات سميت الدارة المتكاملة الصغيرة النطاق ، ظهرت بعدها أجيال عدّة ؛ مثل : الدارات المتكاملة المتوسطة النطاق (ألف ترانزستور) ؛ والدارات المتكاملة الكبيرة النطاق (عشرة آلاف ترانزستور) ؛ والدارات المتكاملة ذات النطاق الكبير جدا (مئة ألف ترانزستور) ؛ والدارات المتكاملة ذات النطاق فوق الكبير (مليون ترانزستور) . ومع نهاية القرن العشرين ، وصل العدد إلى ما يزيد على سبعة ملايين ترانزستور في الدارة المتكاملة الواحدة .

وفي عام ١٩٤٥ ، صُنع أول حاسوب رقمي باستخدام ثمانية عشر ألف صمَام على مساحة ستين مترا مربعا . وفي عام ١٩٥١ ، استخدمت الترانزستورات بدل الصِّمَامات في تصنيع كثير من أجهزة الاتصالات والحواسيب ؛ ما قلص كثيرا من حجومها ، وقلل من استهلاكها للطاقة . ومع ظهور تكنولوجيا الدارات المتكاملة في أوائل الستينيات ، حصل مزيد من التقليص في حجوم الحواسيب ؛ الأمر الذي أدى إلى استخدامها في تطبيقات مختلفة ، كالتحكم بالمقاسم الإلكترونية ذات البرامج المخزنة والأقمار الصناعية والمركبات الفضائية . وفي عام ١٩٦٠ ، اختُرع الليزر الذي يتميز بخصائص فريدة ، أهمها : أن ضوءه يتألف من حزمة ضيقة جداً من الترددات ذات الأطوار المتماسكة ، ويتركز في شعاع ضيق جدا بشدة سطوع عالية تمكنه من الوصول

إلى مسافات بعيدة؛ ما سمح باستخدامه في تطبيقات لا حصر لها، كنقل المعلومات في أنظمة الاتصالات، وقطع المواد في الصناعة، وإجراء العمليات الجراحية وتصحيح النظر في الطب، وكتابة المعلومات على الأقراص الضوئية في الحواسيب، وتصنيع الدارات الإلكترونية المتكاملة. وفي عام ١٩٧١، صُنع أول مُعالِج دقيق على دارات متكاملة من ٢٣٠٠ ترانزستور، وتكون من وحدة معالجة مركزية قادرة على تنفيذ التعليمات المخزنة في الذاكرات. واستُخدم هذا في صناعة الحواسيب الشخصية، وعقلاً مدبّراً في كثير من الأجهزة الإلكترونية؛ كالتلفزيونات وأجهزة التحكم وأجهزة الهواتف اللاسلكية والخلوية والمسجلات السمعية والڤيديوية. وخلال الربع الأخير من القرن العشرين، ظهرت أجيال عدة من المعالجات الدقيقة ذات القدرات المتقدمة. فوصل عدد الترانزستورات في جيل المعالجات في نهاية القرن العشرين إلى ما يزيد على خمسة ملايين ترانزستور، يعمل المعالج منها بسرعة قريبة من ألف ميغاهيرتز.

٣. أنظمة الاتصالات الكهربائية

تعمل أنظمة الاتصالات الكهربائية على جمع مختلف أشكال المعلومات ونقلها وتوزيعها بسرعة الضوء، لمسافات تصل إلى مئات الملايين من الكيلومترات، كما في أنظمة اتصالات استكشاف الفضاء. ويمكن تقسيم أنظمة الاتصالات إلى أربعة أنواع رئيسيّة، هي: أنظمة التراسل، وأنظمة الشبكات، وأنظمة البث، وأنظمة جمع المعلومات.

تعمل أنظمة التراسل على نقل المعلومات بين نقطتين ثابتتين أو متحركتين، كأنظمة الكبول [جَمْع كبْل؛ والجمع الشائع: كوابل] المحورية والألياف الضوئية والأقمار الصناعية والموْجات الدقيقة (الميكروويّة)؛ في حين تعمل الشبكات على ربط عدد كبير من المشتركين بعضهم ببعض أو بمراكز المعلومات، كما في شبكات الهواتف العامة والخلوية وشبكات الحواسيب والإنترنت. أما أنظمة البث، فتبث المعلومات من مرسل واحد إلى عدد كبير من المستقبلات، كما في أنظمة البث الإذاعي والتلفزيوني؛ في

حين تعمل أنظمة جمع المعلومات على استقبال المعلومات من عدد كبير من المرسلات، كأنظمة الرصد الجوي والرادارات وأنظمة الحماية والمراقبة.

يتكون نظام الاتصالات من ثلاث وحدات أساسية، هي: جهاز الإرسال، وقناة الاتصال، وجهاز الاستقبال. وتعتمد كمية المعلومات التي يمكن لنظام الاتصالات نقلها على مواصفات جهازي الإرسال والاستقبال، كالطاقة الكهربائية التي يبثها المرسل، ومقدار تردد حامل المعلومات، وحساسية جهاز الاستقبال، وأنواع التعديل والتشفير المستخدمة؛ وعلى مواصفات قناة الاتصال، كعرض نطاقها، وكمية الضجيج فيها.

أ. المُرْسِلات والمُسْتقبِلات

يعمل المرسل في أبسط أشكاله على تحويل إشارة المعلومات الأصلية إلى إشارة كهربائية تُرسل من دون إجراء أي تعديل على شكلها، كما في إرسال المكالمة الهاتفية من هاتف المنزل إلى المقسم. لكن غالبا ما تُجرى عمليات عدة على إشارة المعلومات، مثل التعديل والتعاقب والتشفير، لأسباب فنية واقتصادية. فتُلزم عملية التعديل، لمواءمة خصائص الإشارة المنقولة مع خصائص قناة الاتصال، بتحميل إشارة المعلومات على حامل جيبي يقع تردده ضمن نطاق تمرير القناة؛ ويُعدّل اتساع الحامل أو تردده أو طوره تبعا للقيمة اللحظية لإشارة المعلومات بما يسمى «تعديل الاتساع» و«تعديل التردد» و«تعديل الطور». كما تُلزم عملية التعاقب، لاستغلال قناة الاتصال استغلالاً كاملاً، بإرسال أكبر عدد ممكن من إشارات المعلومات عليها، باستخدام تعاقب التقسيم الترددي والتقسيم الزمني والتقسيم التشفيري والتقسيم الموجي. فيُقسم تقسيم نطاق القناة في تعاقب التقسيم الترددي إلى عدد من النطاقات الصغيرة، تتسع كل منها لإشارة معلومات واحدة. وفي تعاقب التقسيم الزمني المستخدم في الأنظمة الرقمية، يُستفاد من الفراغ الزمني بين عينات الإشارة الواحدة لإرسال عينات إشارات أخرى. أما عملية التشفير، فتستخدم في الأنظمة الرقمية لأغراض عدة، أهمها:

الحفاظ على سرية المعلومات المرسلة، وتقليل أثر إشارات الضجيج والتداخل، وضغط المعلومات لزيادة كمية المعلومات المنقولة والمخزنة.

ب. قنوات الاتصال السلكية واللاسلكية

تُستخدم قنوات الاتصال السلكية واللاسلكية لإيصال الإشارة الكهربائية الحاملة للمعلومات من المرسل إلى المستقبل. وغالبا ما تتحدد إمكانات نظام الاتصالات المستخدم بخصائص قناة الاتصال؛ فعرض نطاقها يحدد كمية المعلومات المنقولة، وفقدها يحدد مسافة الإرسال القصوى، وطولها يحدد مقدار التأخير الزمني. في القنوات السلكية، تنتشر الإشارات في أسلاك فلزّيّة أو زجاجية، كالمزدوج السلكي والكبل المحوري ومرشد الموْجات والليف الضوئي. فالمزدوج السلكي، المكون من سلكين فلزّيّيْن، له عرض نطاق ضيق ويعاني من فقد كبير؛ لذلك، انحصر استخدامه في الترددات المنخفضة والمتوسطة. ويمتاز الكبل المحوري، المكون من موصلين أحدهما يقع في قلب الآخر، بقلة فقده واتساع عرض نطاقه ومقاومته للتداخل والتشويش؛ لذلك، فهو يستخدم في نقل الترددات المنخفضة والمتوسطة والعالية والعالية جدا. ويسمح مرشد الموْجات، الذي يتكون من موصل أنبوبي الشكل، بمرور الترددات فوق العالية والترددات فائقة العلو؛ ويُستخدم في نقل الإشارات بين المرسلات والهوائيات في أنظمة الموْجات الدقيقة والأقمار الصناعية والرادارات. أما الليف الضوئي، فيتكون من سلك زجاجي عالي النقاء بسمك شعرة الإنسان، ويسمح بمرور الموْجات الضوئية فقط من خلاله؛ ويمتاز، إلى جانب عرض نطاقه الواسع وفقده القليل، بصغر حجمه وخفة وزنه، ويستخدم في أنظمة الاتصالات الضوئية. وفي القنوات اللاسلكية، تنتشر الإشارات على شكل موجات كهْرَمغناطيسية في الفضاء، يجري إشعاعها والتقاطها بهوائيات تتصف ببساطة تركيبها؛ إذ يمكن لأي سلك فلزّيّ إشعاع هذه الموْجات والتقاطها. لكن للحصول على قدرات إشعاع والتقاط عالية، تُحدّد أشكال الهوائيات وأبعادها بما يتناسب مع الترددات المستخدمة. لهذا، يوجد أنواع لا حصر لها من الهوائيات؛ كالهوائيات السلكية المستخدمة في الراديو

والتلفزيون والهاتف الخلوي، التي تتراوح أطوالها بين بضعة سنتيمترات وبضعة أمتار؛ إلى الهوائيات الأطباق المستخدمة في أنظمة الموْجات الدقيقة وأنظمة الأقمار الصناعية والرادارات، التي تصل أقطارها إلى عشرات الأمتار؛ وهوائيات المصفوفات الموجهة إلكترونيا، التي يتزايد استخدامها في الأقمار الصناعية والرادارات.

تنتشر الموجات الكهرمغناطيسية في الفضاء على شكل خطوط مستقيمة؛ إلا أنها بسبب قربها من الأرض قد تتعرض ضمن الغلاف الجوي لكثير من الظواهر الفيزيائية، كالانعكاس والانكسار والحيود والاضمحلال والاستطارة (التبعثر)، التي قد تضر ببعض أنظمة الاتصالات وتفيد البعض الآخر. وقُسّمت الموْجات الراديوية تبعا لطريقة انتشارها إلى ثلاثة أنواع، هي: الموْجات السطحية التي تنتشر ملاصقة لسطح الأرض، فتنحني بانحنائه بسبب ظاهرة الحيود؛ لذلك، تستخدم في أنظمة البث الإذاعي ذات الترددات المتوسطة، ليصل مداها إلى مئات من الكيلومترات. والموْجات السماوية التي تنعكس عن طبقة الأيونسفير، التي تعكس بدوْرها الموْجات ذات الترددات الأقلّ من ٣٠ ميغاهيرتز؛ وتستخدم في أنظمة البث الإذاعي ذات الموْجات القصيرة، التي يصل مداها إلى عشرات الآلاف من الكيلومترات. والموجات الفضائية، التي تنتشر على شكل خطوط مستقيمة، وتشمل الموْجات التي تزيد تردداتها على ٣٠ ميغاهيرتز؛ ويلزم لاستخدامها في أنظمة الاتصالات توافر شرط الرؤية المباشرة بين هوائيي الإرسال والاستقبال.

ج- الطيف الكهْرَمغناطيسيّ

تواجه مصممي أنظمة الاتصالات اللاسلكية مشكلة توفير الترددات اللازمة لأعداد كبيرة ومتزايدة من أنظمة الاتصالات المختلفة؛ كأنظمة البث الإذاعي والتلفزيوني، والهواتف اللاسلكية، والأقمار الصناعيةَ، وأنظمة الاتصالات العسكرية والمدنية، وأنظمة الملاحة الجوية والبحرية والبرية. ويعود السبب في هذه المشكلة إلى العدد المحدود من الترددات المتاحة في الطيف الكهرمغناطيسيّ، وإلى كوْن الغلاف الجوي وسطا مشتركا تنتشر فيه جميع الترددات التي تبثها الأنظمة اللاسلكية؛ ما يمنع إعادة

استخدام التردد نفسه في المنطقة نفسها، تجنبا لتداخل إشارات الأنظمة المختلفة. ويتكون الطيف الكهرمغناطيسيّ من ثلاثة أجزاء رئيسيّة: الطيف الراديوي، الذي يمتد من الصفر إلى ٣٠٠ غيغاهيرتز؛ وطيف الأشعة المرئية وتحت الحمراء، الذي يمتد من ٣٠٠ غيغاهيرتز إلى ثلاثة ملايين غيغاهيرتز؛ وطيف الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية والكونية، التي يتعذر استخدامها في أنظمة الاتصالات لصعوبة توليدها ولخطورتها على الكائنات الحية. ونظرا للتباين الكبير في طرق توليد موْجات الطيف الراديوي وإشعاعها وانتشارها، فقد قُسمت إلى مناطق عدة هي: التردّدات تحت المنخفضة (٣٠٠ إلى ٣٠٠٠ هيرتز)؛ والترددات المنخفضة جدا (٣ إلى ٣٠ كيلوهيرتز)؛ والترددات المنخفضة (٣٠ إلى ٣٠٠ كيلوهيرتز)؛ والترددات المتوسطة (٣٠٠ إلى ٣٠٠٠ كيلوهيرتز)؛ والترددات العالية (٣ إلى ٣٠ ميغاهيرتز) ؛ والترددات العالية جدا (٣٠ إلى ٣٠٠ ميغاهيرتز)؛ والترددات فوق العالية (٣٠٠ إلى ٣٠٠٠ ميغاهيرتز)؛ والترددات الفائقة العلو (٣ إلى ٣٠ غيغاهيرتز)؛ والترددات البالغة العلو(٣٠ إلى ٣٠٠ غيغاهيرتز). واستخدمت أنظمة الاتصالات معظم مناطق الطيف الراديوي؛ باستثناء الترددات البالغة العلو، التي حال دون استخدامها تأثرها الكبير بالأحوال الجوية بسبب قصر طول موجتها. لكن، مع تزايد الطلب على استخدام الأقمار الصناعية وشُح الترددات المتاحة، فقد بدىء باستخدام هذه الترددات في بعض التطبيقات.

تُخصّص الترددات للمستخدمين بواسطة هيئات تنظيم قطاع الاتصالات الوطنية، بالتعاون مع الاتحاد الدولي للاتصالات، الذي يحدد الترددات المتاحة لأنظمة الاتصالات المختلفة، والذي يسمح عادة بإعادة استخدام التردد نفسه على شرط عدم وجود تداخل بين الأنظمة المختلفة، بالاستفادة من التباعد الجغرافي وقدرة البث المحدودة واستخدام طرق تعديل وتشفير واستقطاب مختلفة. لقد خُصّصت أجزاء من الطيف الراديوي لبعض التطبيقات المهمة بشكل دائم: كتخصيص جزء من الترددات المتوسطة (٥٤٠ إلى ١٧٠٠ كيلوهيرتز) للبث الإذاعي المتوسط الموجة، بواقع عشرة كيلوهيرتز لكل محطة؛ وجزء من الترددات العالية للبث الإذاعي القصير الموجة؛

وجزء من الترددات العالية جدا (من ٨٨ إلى ١٠٨ ميغاهيرتز) للبث الإذاعي بتعديل التردد، بواقع مئتي كيلوهيرتز لكل محطة؛ وأجزاء من الترددات العالية جدا (من ٥٤ إلى ٨٨، ومن ١٧٤ إلى ٢١٦ ميغاهيرتز)؛ وجزء كبير من الترددات فوق العالية (٤٧٠ إلى ٨٢٤ ميغاهيرتز) للبث التلفزيوني، بواقع ستة ميغاهيرتز لكل محطة. أما أنظمة اتصالات الأقمار الصناعية والموْجات الدقيقة والرادارات، فتستخدم الترددات التي تمتد من واحد إلى مئة غيغاهيرتز.

٤. أنظمة التراسل

تُستخدم أنظمة التراسل في نقل المعلومات بين العقد المختلفة في شبكات المعلومات؛ حيث يربط نظام التراسل عقدتين مع بعضهما بعضا، ليمكنهما من تبادل المعلومات فيما بينهما. ويتحدد نوع نظام التراسل المستخدم بطول مسافة الإرسال، وكمية المعلومات المراد تبادلها، وطبيعة قناة الاتصال المتوافرة، وكمية الضجيج المضاف. وتَستخدم أنظمة التراسل مختلف قنوات الاتصال، تبعا لمواصفات الإرسال المطلوبة؛ كالمزدوجات السلكية، والكبول المحورية، والموْجات الراديوية والضوئية، والأقمار الصناعية، والألياف الضوئية.

أ. أنظمة الكبول المحورية

تتصف الكبول المحورية بعرض نطاق واسع، يمتد من الصفر إلى ما يزيد على ألف ميغاهيرتز؛ وبمعامل فَقْد منخفض، مقارنة بالأسلاك النحاسية. لذلك، استُخدمت بعد اكتشافها عام ١٩٣٥ في نقل مختلف أنواع إشارات المعلومات. وكان لها دور كبير في نقل المكالمات الهاتفية بين المقاسم الوطنية والإقليمية والدولية، قبل اكتشاف الموْجات الدقيقة في منتصف الأربعينيّات؛ وفي نقل المكالمات الهاتفية بين القارات، قبل ظهور أنظمة الأقمار الصناعية في منتصف الستينيّات.

يُعَدّ مد الكبول المحورية في المحيطات تحديا كبيرا للمهندسين، نظرا للمسافات

الكبيرة بين القارات التي تصل إلى آلاف الكيلومترات؛ إلى جانب إمكانية تعرض الكبول للتلف من ضغط الماء الهائل في قاع المحيطات، وحاجتها إلى الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل محطات التقوية، التي توضع بمعدل واحدة كل عشرة كيلومترات على طول الكبل، والتي لا يمكن تزويدها إلا من عند طرفي الكبل. وفي عام ١٩٥٦، مُدّ أول كبل بحري محوري بين أوروبا وأمريكا الشمالية عبر المحيط الأطلسي، بطول ٣٥٠٠ كيلومتر وبسعة ٥٠ مكالمة هاتفية؛ وآخر عام ١٩٥٧ بين كاليفورنيا غربيّ الولايات المتحدة وجزيرة هاواي عبر المحيط الهادي، بطول ٣٦٠٠ كم وبالسعة نفسها. وفي عام ١٩٦٤، مُدّ أول كبل بحري محوري من هاواي إلى اليابان، بطول عشرة آلاف كيلومتر وبسعة ١٢٨ مكالمة، وكانت المسافة بين محطات التقوية في هذه الأنظمة تتراوح ما بين عشرة كيلومترات وثلاثين كيلومترا. وفي عام ١٩٨٣، مُدّ كبل بحري محوري بين بريطانيا والولايات المتحدة، بسعة أربعة آلاف مكالمة؛ ثم بين كندا وأستراليا، بطول خمسة عشر ألف كيلومتر وبسعة ١٣٨٠ مكالمة عام ١٩٨٤. بعدها، توقف استخدام هذه الكبول في أنظمة الاتصالات البعيدة المدى، بعد بدء استخدام الألياف الضوئية في بداية الثمانينيّات.

ب. أنظمة الموْجات الدقيقة

كان لاكتشاف الموْجات الدقيقة في أثناء الحرب العالمية الثانية واستخدامها في أنظمة الرادار الفضل في تطوير أنظمة اتصالات لاسلكية قادرة على نقل المكالمات الهاتفية والإشارات التلفزيونية بدل الكبول المحورية، التي يتطلب مدها جهدا كبيرا ووقتا طويلا؛ خاصة في المناطق ذات التضاريس الصعبة. والموْجات الدقيقة هي موجات كهْرَمغناطيسية تتراوح ترددادتها بين واحد وثلاثمائة غيغاهيرتز، وتنتشر كموجات فضائية بين هوائيي الإرسال والاستقبال اللذيْن يتطلبان وجود رؤية مباشرة بينهما؛ ما يجعل المسافة الكبرى بين الهوائيين لا تزيد على مئة كيلومتر بسبب كروية الأرض. لكن هذا التحديد لا يمنع من بناء أنظمة اتصالات موْجات دقيقة بعيدة المدى، طالما أنه لا يوجد عوائق طبيعية كالبحار والمحيطات تفصل بين المرسل والمستقبل؛ وذلك

باستخدام الإرسال المتعدد القفزات، الذي يستخدم محطات تقوية تعمل على استقبال الإشارات الضعيفة، فتضخمها ثم تعيد بثها باتجاه محطة التقوية التي تليها حتى تصل إلى المحطة النهائية. وتَستخدم أنظمة الموْجات الدقيقة تكنولوجيات تختلف عن تلك المستخدمة في بقية أنظمة الاتصالات التي تعمل على الترددات دون واحد غيغاهيرتز؛ إذْ إن الكبول المحورية والهوائيات السلكية لا يمكنها نقل الموجات الدقيقة أو بثها. لذلك، استخدمت مرشدات الموْجات والهوائيات الطبقية بدلا منها؛ إلى جانب استخدام أنواع خاصة من الصِّمَامات لتوليد هذه الموْجات وتكبيرها. وفي عام ١٩٤٦، ظهر أول نظام اتصالات موْجات دقيقة في الولايات المتحدة بسعة ثماني مكالمات هاتفية على الحامل الواحد. وبدأت هذه الأنظمة بالانتشار السريع بسبب سهولة تركيبها؛ فاستخدمت في ربط المقاسم المحلية والوطنية والدولية، وفي نقل الإشارات التلفزيونية من الاستديوهات إلى محطات البث والتقوية. وفي غضون أعوام قليلة، رُفع عدد المكالمات المحمولة على الحامل الواحد ليصل إلى ألفي مكالمة؛ مع العلم أنه يمكن بث عشرات الحوامل باستخدام الهوائيات ومرشدات الموْجات والمضخمات نفسها. وفي عام ١٩٧٦، استخدمت التكنولوجيا الرقمية في أنظمة الموْجات الدقيقة؛ ما زاد من عدد المكالمات ومن مقاومتها للضجيج والتداخل. وبالرغم من أن أنظمة الموْجات الدقيقة لم تستخدم محطات تقوية بين القارات لصعوبة نصب أبراج محطات التقوية في المحيطات، إلا أنه جرى التحايُل على هذه المشكلة بوضع محطات تقوية معلقة في الفضاء؛ وهي الأقمار الصناعية.

ج. أنظمة الأقمار الصناعية

اقترح كاتب الخيال العلمي الأمريكي آرثر كلارك عام ١٩٤٥ حلا لمشكلة الاتصالات بين القارات، بوضع أقمار صناعية في مدار متزامن حول الأرض، لتعمل كمحطات تقوية تستقبل الإشارات من محطات أرضية، ثم تعيد بثها ثانية إلى الأرض، لتتلقّاها محطات أرضية أخرى على بعد آلاف الكيلومترات. لكن يلزم لوضع القمر الصناعي في هذا المدار وجود صواريخ دفع جبارة، لإخراجه من نطاق

الجاذبية الأرضية؛ ويلزم كذلك وجود طاقة كهربائية دائمة، لتشغيل أجهزة الاتصالات والمعدات الموجودة فيه. لقد ساعد سباق التسلح بين الدول العظمى في مجال تكنولوجيا الصواريخ العابرة للقارات على صناعة صواريخ قادرة على الخروج من نطاق الجاذبية الأرضية؛ ما مكن الاتحاد السوفييتيّ في عام ١٩٥٧ من إطلاق أول قمر صناعي تجريبي (سبوتنيك ١)، الذي وضع في مدار أرضي منخفض غير متزامن. وتبعته الولايات المتحدة الأمريكية؛ فأطلقت قمرها الصناعي الأول (إكسبلورر١) عام ١٩٥٨. ومنذ ذلك الحين، بدأ التسابق بين الدولتين لإطلاق أقمار صناعية لشتى الأغراض العسكرية والمدنية والعلمية. ففي مجال الاتصالات، أطلقت الولايات المتحدة عام ١٩٦٢ أول قمر صناعي غير متزامن (تلستار١)، وأتبعته عام ١٩٦٣ بقمر صناعي متزامن (سينكوم٢)؛ في حين أطلق الاتحاد السوفييتيّ القمر الصناعي غير المتزامن (مولنيا١) عام ١٩٦٥. والمدار المتزامن هو مدار دائري يقع فوق خط الاستواء على ارتفاع ستة وثلاثين ألف كيلومتر تقريبا؛ وهو المدار الوحيد الذي يبدو فيه القمر ثابتا لمن يشاهده من على الأرض نتيجة لتساوي سرعة دورانه مع سرعة دوران الأرض. وبمجرد وضع القمر في المكان المخصص له في المدار، فإنه يبقى يدور فيه من دون الحاجة إلى قوة دفع جديدة، نتيجة لتساوي قوة الطرد المركزي مع قوة الجاذبية الأرضية. ويستطيع القمر الصناعي المتزامن أن يغطي ٤٠ بالمئة من مساحة سطح الأرض. وباستخدام ثلاثة أقمار متزامنة، يمكن تغطية سطح الأرض بأكمله؛ باستثناء مناطق صغيرة حول القطبين. ومن ميزات هذا القمر أنه يستخدم هوائيات ثابتة التوجيه في المحطات الأرضية؛ لكن بسبب ارتفاعه الكبير يلزمه قدرة بث عالية، ويوجد تأخير في وصول الإشارات بين المحطات الأرضية بمقدار ربع ثانية. أما المدارات غير المتزامنة، فهي كل المدارات عدا المدار المتزامن؛ وقد تكون على شكل دائري أو إهليلجي. وأما ارتفاعاتها، فيجب أن تكون فوق الغلاف الجوي (٥٠٠ كيلومتر)، لتجنب الاحتكاك به؛ وخارج نطاق حزام إشعاعات فان ألن (بين ألفين وعشرة آلاف كيلومتر)، لتجنب الإشعاعات الضارة بالخلايا الشمسية وأجهزة الاتصالات. لذلك، يوجد نوعان من الأقمار الصناعية غير المتزامنة؛ وهي الأقمار المنخفضة المدار (٥٠٠

إلى ٢٠٠٠ كيلومتر)، والأقمار المتوسطة المدار (بين عشرة آلاف وعشرين ألف كيلومتر). ونظرا لعدم تزامن حركة الأقمار غير المتزامنة مع حركة الأرض، فإنها تبدو غير ثابتة لمن يشاهدها من على الأرض؛ ما يستدعي استخدام هوائيات متحركة تقتفي حركة القمر منذ ظهوره حتى غيابه. ويلزم لحل مشكلة انقطاع الاتصالات عند غياب القمر استخدام أقمار عدة موزعة بانتظام على محيط المدار؛ بحيث إذا غاب أحدها، ظهر القمر الذي يليه ليحلّ مكانه. ولتغطية سطح الأرض بأكمله بنظام اتصالات أقمار غير متزامنة، يلزم وجود عدد كبير من الأقمار في مستويات مدارية عدة؛ فيلزم أكثر من عشرة أقمار في المدارات المتوسطة، وأكثر من أربعين قمرا في المدارات المنخفضة، مقابل ثلاثة أقمار في المدار المتزامن.

يحمل القمر الصناعي عددا من الهوائيات، ومن أجهزة الاستقبال والإرسال (المستجيبات)؛ وعددا كبيرا من الخلايا الشمسية المرصعة على جسم القمر أو على أجنحة ممتدة منه تحوّل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، تخزن في بطاريات لتشغيل أجهزته المختلفة؛ وأجهزة للتحكم والقياس؛ ومجموعة من الأنابيب المملوءة بالغاز لاستخدامه قوة دافعة عند نفثه من حين لآخر، لمنع القمر من الانحراف عن المكان المخصص له في المدار. ويُخصص لكل قمر محطة أرضية تراقب وضعه في مداره وحالة أنظمته المختلفة. ويتحقّق ذلك باستخدام أجهزة قياس ومجسات ترسل قياساتها إلى المحطة الأرضية التي توجه الأوامر لتصحيح وضع القمر وإصلاح الأعطال، التي قد تصيب أجهزته، ولتوجيه الهوائيات إلى مناطق التغطية على سطح الأرض. ويتحدد عدد المكالمات الهاتفية والإشارات التلفزيونية التي يمكن للقمر نقلها من عدد المستجيبات التي يحملها؛ إذ يستطيع المستجيب الذي يبلغ عرض نطاقه ٣٦ ميغاهيرتز أن ينقل إشارة تلفزيونية واحدة، أو ما يقرب من ألف مكالمة هاتفية باتجاه واحد، في حالة استخدام التكنولوجيا التماثلية. أما في حالة استخدام التكنولوجيا الرقمية، فيمكن زيادة عدد الإشارات التلفزيونية والمكالمات الهاتفية إلى أضعاف عدة. ويتحدد عدد المستجيبات التي يمكن للقمر حملها اعتمادا على كمية الطاقة الكهربائية التي تولدها الخلايا الشمسية. ولكفاءة هذه الخلايا دور كبير في تحديد أحجام هوائيات

الإرسال والاستقبال في القمر الصناعي، وفي المحطات الأرضية.

يتحدد عمر القمر الافتراضي من كمية الغاز الذي يحمله؛ فمع انتهاء كمية الغاز يصبح من الصعب الحفاظ على القمر في مداره الصحيح. ويبلغ العمر المتوقع للأقمار الصناعية المصنوعة في أواخر القرن العشرين سبعة عشر عاما، مقابل سبعة أعوام في الأقمار القديمة. لقد تولت الهيئة الدولية للاتصالات الفضائية (إنتلسات) مهمة تأمين الاتصالات الدولية بين جميع دول العالم؛ وأطلقت الجيل الأول من أقمارها الصناعية المتزامنة في عام ١٩٦٥، وجيلها الثامن عام ١٩٩٧. وتتكون منظومة إنتلسات من أسطول من الأقمار الصناعية بلغ عددها في أواخر القرن العشرين سبعة عشر قمرا موزعة على ثلاثة مواقع، تقع فوق المحيطات الأطلسي والهندي والهادي؛ ويمكن لأي دولة الاتصال ببقية دول العالم من خلال هوائييْن موجهيْن لموقعيْن من هذه المواقع الثلاثة. ويبلغ عدد المستجيبات على القمر الواحد من أقمار الجيل الثامن ٤٤ مستجيبا، تنقل ثلاث قنوات تلفزيونية، وخمسة وأربعين ألف دائرة هاتفية باتجاه واحد. وإلى جانب خدمة إنتلسات، تستخدم كثير من الدول أقمارا صناعية خاصة بها لتأمين اتصالاتها الداخلية والخارجية مع الدول المجاورة. وفي مطلع الثمانينيّات، بدأ استخدام الأقمار الصناعية المتزامنة لبث القنوات التلفزيونية مباشرة إلى المنازل، من خلال مئات الأقمار التي تبث آلاف القنوات التلفزيونية التماثلية والرقمية. وفي نهاية التسعينيّات، بُدئ باستخدام الأقمار الصناعية غير المتزامنة لتقديم خدمة الهاتف النقال وخدمة الإنترنت.

د. أنظمة الألياف الضوئية

بالرغم من توافر الموْجات الضوئية في الطبيعة، واستخدامها بكفاءة عالية في النظام البصري للإنسان وكثير من الحيوانات، فإن استخدامها في أنظمة الاتصالات تأخر إلى منتصف السبعينيّات من القرن العشرين بسبب حاجة هذه الأنظمة إلى مصادرَ ضوئية خاصة. وبقيت فكرة استخدام الموْجات الضوئية حُلما يراود المهندسين، لما لها من ترددات عالية قادرة على حمل كمية معلومات تزيد آلاف المرات على تلك التي تحملها

الحاملات الراديوية. ومع اختراع الليزر عام ١٩٦٠ مصدراً للضوء المتماسك الأحادي اللون، استخدمه المهندسون أولا في أنظمة اتصالات ضوئية جوية؛ لكن بسبب تأثر الضوء الكبير بالعوامل الجوية نتيجة للقصر المتناهي لطول موجته، اقتصر استخدام هذه الأنظمة على تطبيقات محددة، كما في أجهزة التحكم بالتلفزيونات. وفي عام ١٩٦٧، اقترح باحثان إنجليزيان استخدام الألياف الزجاجية كقناة اتصالات ضوئية؛ على شرط أن يُقلّل الفقد العالي في الزجاج بالتخلص من الشوائب الموجودة فيه. وفي عام ١٩٧٠، تمكنت شركة أمريكية من أن تقلل فقد الزجاج من ألف ديسبل إلى ما دون عشرين ديسبل لكل كيلومتر؛ فتجددت آمال المهندسين في تصميم أنظمة اتصالات ضوئية باستخدام الألياف الزجاجية. ورافق هذا التطور في تكنولوجيا الألياف الزجاجية تطورات في تكنولوجيات المصادر والكواشف الضوئية المصنعة من المواد شبه الموصلة، التي تتصف بصغر حجمها؛ وهذا الحجم يتناسب مع حجم الليف الزجاجي. وهكذا، تمكنت شركة أمريكية عام ١٩٧٥ من إجراء أول تجربة ميدانية ناجحة لنظام اتصالات ضوئي باستخدام الألياف الزجاجية. وتمتاز هذه الألياف على الكبول المحورية والأسلاك النحاسية بقلة فقدها، واتساع عرض نطاقها، وصغر حجمها، وخفة وزنها، وحصانتها ضد التداخل والتشويش، ووفرة مادتها الخام، وانعدام خطرها في إحداث الحرائق، وعدم حاجتها إلى العزل إلا لأغراض حمايتها من التلف. وقد أنتج نوعان من الألياف الضوئية، هما: الليف الأحادي النمط، الذي لا يزيد قطر قلبه على ١٠ ميكرومترات، ويتصف بقدرته على نقل كميات ضخمة من المعلومات تصل إلى ملايين المكالمات الهاتفية في الوقت نفسه، لكنه يحتاج إلى تكنولوجيات متقدمة لتصنيعه ولوصل الألياف بعضها ببعض؛ والليف المتعدد الأنماط، الذي يبلغ قطر قلبه ٦٠ ميكرومترا ويتصف بسهولة تصنيعه وسهولة وصل الألياف، لكنه يسمح بانتشار بضع مئات من الأنماط، ما يُقلل كمية المعلومات المرسلة فيه.

استخدمت أنظمة اتصالات الألياف الضوئية في جيلها الأول موجات الأشعة تحت الحمراء في النافذة التي تقع حول ٨٥٠ نانومتراً. لكن بسبب الفقد العالي للزجاج في هذه النافذة، جرى الانتقال في بداية الثمانينيّات إلى الطول الموجي ١٣٠٠ نانومتر؛

ومن ثم الطول الموجي ١٥٥٠ نانومتراً، حيث يصل فقد الزجاج إلى حده الأدنى، وهو ٠,٢ ديسبل لكل كيلومتر. وفي بداية الثمانينيّات، بدأت شركات الاتصالات باستخدام الألياف الضوئية بدل الكبول المحورية في مختلف أنظمة الاتصالات؛ كربط المقاسم المحلية والوطنية والدولية، وإنشاء شبكات المعلومات وشبكات التوزيع التلفزيونية ونظم الاتصالات الداخلية في الطائرات والسفن وفي أنظمة الاتصالات العسكرية، بحيث وصل مجموع أطوال ما مُدّ من ألياف في العالم مع نهاية عام ١٩٩٩ إلى عشرين مليون كيلومتر. وفي عام ١٩٨٨، مُدّ أول كبل بحري باستخدام الألياف الضوئية يربط أمريكا مع أوروبا، بطول ستة آلاف كيلومتر وبسعة أربعين ألف مكالمة هاتفية، وبلغت المسافة بين محطات التقوية ٥٠ كيلومتراً. وفي بداية التسعينيّات، بدأ استخدام المضخمات الضوئية بدل محطات التقوية الإلكترونية في تقوية الإشارات الضوئية؛ الأمر الذي ساعد في تصميم أنظمة اتصالات ألياف ضوئية يصل مداها إلى آلاف الكيلومترات، وتصل المسافة بين المضخمات الضوئية إلى مئة كيلومتر. وقد سهلت المضخمات الضوئية استخدام تكنولوجيا تعاقب التقسيم الموجي، التي تسمح بزيادة كمية المعلومات المرسلة على الليف نفسه، بإضافة موجات حاملة جديدة قد يصل عددها إلى عشرات الموْجات، التي تستطيع كل منها حمل مئات آلاف المكالمات الهاتفية. وبهذا، أصبح بإمكان الليف الزجاجي نقل أكثر من مليون مكالمة هاتفية في الوقت نفسه. وبسبب الطلب المتزايد على خدمات الإنترنت، أصبحت الحاجة ماسة إلى مدّ مزيد من كبول الألياف الضوئية، البرية منها والبحرية. وبدأت شركات الاتصالات العالمية تنفيذ مشروعات عملاقة للكبول الضوئية تربط القارات بعضها ببعض. ومنها: الكبل الضوئي (فلاغ-١)، الذي مُدّ عام ١٩٩٧ بين بريطانيا واليابان، مرورا بالساحل الغربي لأوروبا، عابرا البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر وبحر العرب والمحيط الهندي، بطول ٢٧ ألف كيلومتر وسعة ٢٠ غيغابت في الثانية (كل غيغابت في الثانية يعادل ١٥ ألف مكالمة هاتفية غير مضغوطة)؛ والكبل الضوئي (عبر الأطلسي-١)، الذي مُدّ عام ١٩٩٨ بين أمريكا الشمالية وأوروبا، بطول ١٤ ألف كيلومتر وبسعة ٤٠ غيغابت في الثانية، ورفعت السعة إلى ٨٠ غيغابت

في الثانية أواخر عام ١٩٩٩؛ والكبل الضوئي (عبر الهادي-١)، الذي بدأ مدّه عام ٢٠٠٠ بين أمريكا الشمالية واليابان، بطول ٢١ ألف كيلومتر. وقد بلغت السعة الكلية للألياف الضوئية بين أمريكا وأوروبا ٥ غيغابت في الثانية عام ١٩٩٤، ارتفعت إلى ١٥٠ غيغابت في الثانية عام ١٩٩٩. كذلك، بُنيت شبكات ضوئية تربط الدول المتجاورة بعضها ببعض؛ كما في الشبكة الضوئية الأوروبية، التي تربط كبرى المدن الأوروبية، من خلال كبل ضوئي بطول ٤٥ ألف كيلومتر وسعة ١٦٠ غيغابت في الثانية. وهنالك مشروع ضخم لمد كبل ضوئي بري بحري حول العالم، لربط ١٧٠ دولة، بطول ٢٧٥ ألف كيلومتر وسعة تصل إلى ألف غيغابت في الثانية؛ أي ما يعادل ١٥ مليون مكالمة هاتفية غير مضغوطة.

٥. شبكات المعلومات

تتكون شبكة المعلومات من عدد كبير من المشتركين، الذين يمكن لأي منهم الاتصال بأي مشترك آخر على الشبكة لتبادل المعلومات معه؛ على أن يكون لكل مشترك عنوانه المحدد. وتتكون الشبكة من الأجهزة الطرفية للمشتركين؛ ومن مراكز التبديل، التي تعمل على تأمين قناة الاتصال المناسبة لربط المشترك الطالب مع المشترك المطلوب؛ ومن أنظمة التراسل، التي تربط المشتركين مع مراكز التبديل، وتربط مراكز التبديل بعضها ببعض. ويجري توفير قناة الاتصال على الشبكة بناء على طلب أحد المشتركين، من خلال إرسال إشارات تحكم من جهازه الطرفي على شكل سلسلة من الأرقام أو الأحرف إلى أقرب مركز تبديل؛ ليقوم بترجمة هذه الإشارات، التي تعمل على إغلاق المفاتيح اللازمة لإيصال المشترك إلى الوجهة التي يريدها. وتستخدم مراكز التبديل إحدى طريقتين لتأمين قناة الاتصال المطلوبة، هما: التبديل الداراتي، والتبديل الرزمي. ففي التبديل الداراتي المستخدم في الشبكات الهاتفية، تغلق سلسلة من المفاتيح في مقاسم التبديل المختلفة للحصول على قناة الاتصال اللازمة، التي تبقى محجوزة طوال المكالمة، بصرف النظر عن نسبة إشغالها التي لا تتجاوز الخمسين بالمئة في المكالمات الصوتية. أما التبديل الرزمي، الذي ظهر في بداية الستينيّات كنظام تبديل

لشبكات الحواسيب، فإنه يتميز بنسبة إشغال عالية، ويستخدم الحواسيب بدل المقاسم في إجراء عملية التبديل؛ حيث يُجزيء الحاسوب الرسالة إلى عدد من الرزم يحوي كل منها جزءا من معلومات الرسالة الأصلية؛ إضافة إلى عنوان الطالب والمطلوب والرقم التسلسلي للرزمة؛ ثم يرسلها على التوالي إلى أقرب حاسوب مرتبط معه؛ وهذا بدوره يمررها إلى حاسوب آخر، وهكذا؛ إلى أن تصل إلى عنوانها المطلوب. ونظرا للتأخير الزمني العشوائي الذي تعاني منه أنظمة التبديل الرزمي، فقد تعذر استخدامها في نقل المكالمات الهاتفية. لذلك، طُوِّرت أنواع من التبديل تجمع بين نوعي التبديل الداراتي والرزمي قادرة على نقل مختلف أنواع المعلومات المرئية والصوتية والبيانية؛ وذلك بعد تحويلها إلى إشارات رقمية. وأشهر هذه الأنواع ما يسمى نمط الإرسال اللامتزامن، الذي يتكون من رزم ثابتة الطول، ترسل تباعا بمعدل يعتمد على سعة قناة الإرسال.

أ ـ التلغراف والتلكس والناسوخ (الفاكس)

اخترع الأمريكي مورْس التلغراف في عام ١٨٣٧، وتمكن في عام ١٨٤٤ من إرسال أول رسالة برقية كهربائية عبر الأسلاك النحاسية. ويعمل التلغراف على تحويل الرسالة المكتوبة إلى سلسلة من النبضات الكهربائية الطويلة والقصيرة، باستخدام شيفرات محددة لتمثيل الحروف الأبجدية؛ وترسل هذه بالضغط على مفتاح كهربائي يُغلق دارة كهربائية، تمتد بين المرسل والمستقبل، ويفتحها؛ وعند المستقبل يرسم قلم مثبت على مطرقة كهربائية خطوطا طويلة وقصيرة، تترجم لاسترجاع الرسالة الأصلية.

بدأت خدمة التلغراف بالانتشار بشكل متسارع في جميع أنحاء أمريكا الشمالية؛ ومنها إلى أوروبا وبقية دول العالم. ورُبطت المراكز البريدية ومحطات القطارات والمراكز المالية والدوائر الحكومية والوحدات العسكرية بشبكة من أنظمة التلغراف؛ فسهلت بذلك على الناس نقل الرسائل والأخبار بسرعة الضوء. ومُدّ أول كبل بحري

عبر القنال الإنجليزي لتوفير خدمة التلغراف بين فرنسا وإنجلترا عام ١٨٥١ . وشُغّل أول نظام تلغراف بحري بين أوروبا وأميركا عام ١٨٦٦ . وفي عام ١٨٧٤ ، تمكن الأمريكي ثوماس أديسون من إرسال ٤ برقيات (اثنتين في كل اتجاه) على الخط نفسه، زيدت إلى ٨ برقيات عام ١٩١٥ . وفي عام ١٨٩٦ ، بدأت المحاولات لاستخدام الموْجات الكهْرَمغناطيسية لنقل الرسائل البرقية لاسلكيا ؛ لكن بسبب ضعف الإشارات وعجزها عن تشغيل أجهزة استقبال التلغراف، تأخر استخدامها عمليا إلى أن اختُرع الصمام الإلكتروني عام ١٩٠٦ . ومع اختراع نظام الطباعة عن بعد (تليبرنتر) عام ١٩٠١ ، أصبح بالإمكان إرسال الرسائل المكتوبة بشكل أسهل وأسرع ؛ فما يطبع على طابعة (راقنة) الإرسال، يظهر مباشرة على الورق عند طابعة الاستقبال. وبذلك بدأت خدمة الطابعات البُعْدية تحل تدريجيا محل التلغراف، وسُميّت لاحقا التلكس. وفي عام ١٩٣١ ، استخدمت مقاسم خاصة لربط الطابعات عن بُعْد، على غرار مقاسم الهاتف، وأعطي رقم لكل مشترك. وبدأت شبكات التلكس بالانتشار، مع تزايد الطلب على الاشتراك بها من الشركات والمؤسسات والبنوك وغيرها. أما الناسوخ، الذي يتميز على التلغراف والتلكس بقدرته على إرسال صورة طبق الأصل من الوثيقة الأصلية، فقد ظهر عام ١٩٢٤ ؛ حيث استخدم المسح الميكانيكي لتحويل محتويات الصفحة المراد إرسالها إلى إشارة كهربائية ترسل من خلال شبكات الهواتف العامة، فيعيد جهاز آخر طبعها على فلم يُحمّض لإظهار الصورة. لقد كانت عملية إرسال الناسوخ واستقباله بالطريقة الميكانيكية بطيئة جداً؛ ما حد من انتشار هذه الخدمة، إلى أن ظهرت أنظمة المسح والإظهار الإلكترونية في منتصف السبعينّيات، التي قلصت كثيرا زمن الإرسال، بحيث أمكن إرسال الصفحة واستقبالها في أقل من عشر ثوانٍ.

ب ـ شبكة الهواتف العامة

تمكن الأمريكي غراهام بل عام ١٨٧٥ من اختراع جهاز الهاتف، الذي يتكون من ميكرفون يحول الصوت إلى إشارة كهربائية، وسمّاعة تحول الإشارة الكهربائية إلى صوت. وأسس عام ١٨٧٧ أول شركة للخدمة الهاتفية (شركة بل للهواتف)، التي

انشأت أول شبكة هاتفية في إحدى المدن الأمريكية بسعة ٢١ خطا، وكان مأمور المقسم يربط المشتركين يدويا. وبدأ الطلب يتزايد على هذه الخدمة؛ فبُنيت شبكات هاتفية محلية مماثلة في بقية المدن الأمريكية. وفي عام ١٨٨١، ربطت الشبكات المحلية المتجاورة بعضها ببعض لتمكين المشتركين من الاتصال بالمناطق والمدن المجاورة، ضمن مدى لا يتجاوز مئة كيلومتر، بسبب ضعف الإشارات الكهربائية. وفي عام ١٨٩٢، استخدم أول مقسم آلي (مقسم الخطوة خطوة) في الشبكة الهاتفية، بديلا عن مأمور المقسم؛ حيث يُطلب الرقم من خلال أربعة أزرار ترتبط بالمقسم بأربعة أسلاك إضافة إلى سلك خامس لنقل المكالمة، واستخدمت الأرض خطا راجعا لهذه الأسلاك الخمسة. وفي عام ١٨٩٦، حلّ محل الأربعة أزرار الهواتف القرصية ذات العشرة أرقام، التي ترتبط بالمقسم بسلكين فقط، بعد الاستغناء عن الأرض خطاً راجعاً. وفي عام ١٩١٥؛ تمكن المهندسون من زيادة مدى المكالمات الهاتفية، ليصل إلى آلاف الكيلومترات باستخدام مضخمات الصمامات الإلكترونية التي اخترعت عام ١٩٠٦. وفي عام ١٩٣٥، استخدمت الكبول المحورية لنقل المكالمات الهاتفية بين المقاسم البعيدة؛ فنقل عدد كبير من المكالمات على الكبل نفسه باستخدام تكنولوجيا تعاقب التقسيم الترددي. وفي عام ١٩٣٨، استخدمت مقاسم القضبان المتعامدة والمرحّلات الكهربائية، التي تمتاز بصغر حجمها وقلة ضجيجها، مقارنة بمقاسم الخطوة خطوة. وفي عام ١٩٤٦، استخدمت أنظمة اتصالات الموْجات الدقيقة لنقل المكالمات بين المدن؛ خاصة في المناطق الوعرة التي يتعذر فيها مد الكوابل المحورية. وفي عام ١٩٥٥، بدأت الخدمة الهاتفية السلكية بين أوروبا وأمريكا، بعد مد أول كبل محوري بحري بينهما عبر المحيط الأطلسي. وفي عام ١٩٦٠، ظهر الجيل الأول من المقاسم الإلكترونية المبنية من الترانزستورات. ثم استخدمت التكنولوجيا الرقمية في نقل المكالمات بين المقاسم (١٩٦٢)؛ وظهرت الهواتف ذات أزرار الكبس (١٩٦٤)؛ واستخدمت الأقمار الصناعية في نقل المكالمات الهاتفية بين القارات (١٩٦٥)؛ والمقاسم المحكومة بالبرامج المخزنة (١٩٦٦)؛ والهاتف اللاسلكي (١٩٦٧)؛

والتكنولوجيات الرقمية بدل المرحلات المزمارية في المقاسم الإلكترونية (١٩٧٦)؛ وكبول الألياف الضوئية لنقل المكالمات الهاتفية بين المقاسم (١٩٧٧)؛ والهواتف المتنقلة الخلوية (١٩٨٣)؛ والشبكة الهاتفية لنقل خدمة الإنترنت للمنازل (١٩٩٤). ومع نهاية القرن العشرين، أصبحت شبكة الهواتف العامة تربط ما يزيد على بليون مشترك في جميع أنحاء الكرة الأرضية. ولربط هذا العدد الضخم من المشتركين بهذه الشبكة العملاقة بأقل قدر من الأجهزة والأسلاك، ربط المشتركون في المنطقة الجغرافية الواحدة بمقسم محلي موجود في مركز ثقل التجمع السكاني، لتقليل كمية الأسلاك النحاسية المستخدمة. ومن خلال هذه الشبكة المحلية، يستطيع المشتركون الاتصال آليا بعضهم ببعض؛ حيث يتولى المقسم الآلي تحديد مسار المكالمة بعد تسلّمه الرقم المطلوب. ولتمكين هؤلاء المشتركين من الاتصال مع مشتركي المقاسم المحلية الأخرى في الدولة الواحدة، تُربط المقاسم المحلية المتجاورة بمقاسم مركزية؛ والمقاسم المركزية بمقاسم وطنية. وغالبا ما تستخدم الكبول المحورية وكبول الألياف الضوئية ووصلات الموْجات الدقيقة لربط المقاسم بعضها ببعض. أما الاتصال بين مشتركي الدول المختلفة، فيتحقّق بربط المقاسم الوطنية بمقاسم دولية ترتبط مع بعضها بعضا بشكل مباشر، في حالة وجود حركة هاتفية كبيرة بين الدولتين، أو عن طريق دول أخرى في حالة الحركة الهاتفية الخفيفة؛ وذلك باستخدام الكبول المحورية، وكبول الألياف الضوئية، ووصلات الموْجات الدقيقة، والأقمار الصناعية.

ج - الشبكات الهاتفية الفَرْعيّة الخاصة

نظرا لحاجة المؤسسات والشركات وغيرها من التجمعات إلى توفير الخدمة الهاتفية للعاملين فيها، لتمكينهم من الاتصال فيما بينهم لإنجاز مهماتهم بكفاءة عالية، وجد أنه من غير المجدي اقتصاديا توفير خط هاتف عام لكل موظف. لذلك، كان الحل الأمثل بناء شبكة اتصال هاتفية فرعية خاصة داخل هذه المؤسسات. وتتكون الشبكة الهاتفية الفرعية الخاصة من مقسم فرعي آلي، بسعة كافية لتوفير الخدمة الهاتفية بين مستخدمي الهيئة المعنية. ويربط هذا المقسم الفرعي مع الشبكة الهاتفية العامة بعدد كاف من

الخطوط، يتحدد بناء على حجم الحركة الهاتفية الداخلة والخارجة. وفي بداية ظهور هذه الخدمة، كان يلزم وجود مأمور مقسم أو أكثر لربط المكالمات الخارجة والداخلة من المقسم وإليه؛ لكن بعد أعوام قليلة، أصبح بمقدور العاملين الاتصال بالشبكة الهاتفية العامة مباشرة، بإضافة رقم معين قبل رقم الهاتف المطلوب. ثم أصبح بالإمكان الاتصال بأي رقم داخل الشبكة الفرعية من خارجها، بطلب أحد الأرقام الخارجية لهذه الشبكة؛ وبعد فتح الخط يمكن طلب رقم الخط الداخلي آليا.

د ـ أنظمة النداء اللاسلكية

برزت فكرة استخدام نظام اتصالات لاسلكي للمناداة على شخص متجول في بداية الخمسينيّات، بعد أن شاهد أحد المهندسين مدى الإزعاج الذي يعانيه المرضى في المستشفيات نتيجة لاستخدام أنظمة النداء الصوتية لاستدعاء الأطباء والممرضات. ويتكون نظام النداء اللاسلكي من جهاز إرسال واحد، وعدد كبير من أجهزة الاستقبال اللاسلكية المحمولة من الأشخاص المتجولين. فيتسلّم عامل الإرسال رسائل النداء، ويرسلها لاسلكيا على التعاقب إلى الأشخاص المعنيين. ولضمان وصول الرسالة إلى الشخص المعني فقط، وعدم استقبالها من بقية المشتركين، خُصّصت شيفرة خاصة لكل جهاز استقبال، بحيث يستجيب الجهاز المعني فقط للرسالة المبثوثة. ويعمل الجيل الأول من أنظمة النداء اللاسلكية على تنبيه الشخص المنادى بلحن مميز ينبعث من جهازه؛ فيعرف أنه مطلوب من شخص ما. فيتصل من أقرب هاتف عام بعامل الإرسال لمعرفة الرسالة، أو للاتصال بالشخص المعني. أما في الجيل الثاني، الذي ظهر في بداية الثمانينيّات، فقد زودت أجهزة الاستقبال بشاشات رقمية تظهر رقم الشخص الطالب الذي يرسله عامل الإرسال أو يدخل آليا؛ فيتصل المنادى بالشخص الطالب مباشرة من دون الرجوع إلى عامل الإرسال. وفي التسعينيّات، ظهر الجيل الثالث الذي يستطيع استقبال رسائل مكتوبة تظهر على شاشة جهاز الاستقبال؛ وبذلك، يستغني الشخص المنادى عن البحث عن هاتف عام للاتصال بعامل الإرسال، أو حتى بالشخص الطالب إذا كانت الرسالة واضحة، على أن لا تتعدى عددا معينا من

الكلمات. لكن هذا النوع لم ينتشر كثيرا بسبب ضرورة توافر جهاز حاسوب مرتبط مع خط الهاتف عند الشخص الطالب، لإدخال كلمات الرسالة، أو للاتصال بعامل الإرسال لإملاء الكلمات المراد إرسالها. أما الجيل الرابع، فيعمل على إرسال رسالة صوتية لا تتجاوز مدتها العشرين ثانية من الشخص الطالب؛ فتتلقّاها أجهزة في مركز الإرسال وترسلها إلى جهاز الاستقبال، الذي يخزنها في الذاكرة لحين سماعها من الشخص المنادى. وتتميز أنظمة النداء اللاسلكية ببساطتها وقلة كلفتها؛ إذ يمكن لجهاز إرسال يعمل على تردد واحد تغطية مدينة كاملة. لذلك، انتشرت انتشارا واسعا في جميع دول العالم.

هـ - الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات

صُممت شبكة الهواتف العامة لنقل المكالمات الهاتفية؛ إلا أنه يمكن الاستفادة من إمكاناتها لنقل أنواع أخرى من المعلومات وبمعدلات تقع ضمن قدرات هذه الشبكة، مثل ربط أجهزة الناسوخ والحواسيب. بدأ استخدام «المودمات» التماثلية في ربط الحواسيب من خلال الشبكة الهاتفية منذ الستينيّات. وكان معدل النقل لا يتجاوز بضع مئات من البتات في الثانية؛ لكن مع استخدام طرق تعديل متقدمة، رُفع معدل النقل إلى السعة القصوى لخط المشترك النحاسي، الذي وصل مع نهاية القرن العشرين إلى ما يقرب من ٥٦ كيلوبت في الثانية. ومع تزايد الطلب على خدمة الإنترنت من خلال الشبكة الهاتفية، أصبح من الضروري البحث عن حل لمشكلة تدني معدل نقل البيانات على خط المشترك النحاسي، بسبب ضيق عرض نطاقه الذي لا يتجاوز ٣ كيلوهيرتز. ويمكن حل هذه المشكلة من حيث المبدأ باستخدام خطوط نقل ذات عرض نطاق واسع، كالألياف الضوئية والكبول المحورية. لكن هذا الحل يتطلب صرف آلاف المليارات من الدولارات لاستبدال بأكثر من ثلاثة آلاف مليون كيلومتر من الأسلاك النحاسية ما يماثلها من هذه الخطوط المقترحة. لذلك، انصبّ العمل على الإبقاء على خط المشترك النحاسي واستخدام التكنولوجيا الرقمية لزيادة معدل نقل البيانات عليه، بعد التخلص من المرشحات الموجودة عند نهاية خط المشترك في المقسم المحلي؛ وهي

المسؤولة عن انخفاض عرض نطاق السلك النحاسي. وفي بداية التسعينيّات، ظهرت أنواع عدة من المودمات الرقمية، أطلق عليها اسم «خط المشترك الرقمي»، تستطيع نقل البيانات بمعدلات أعلى بكثير من المودمات التماثلية، وتصل إلى ما يزيد على ٦ ميغابت في الثانية ببعض أنواعها المسمّى خط المشترك الرقمي اللاامتماثل. وفي منتصف التسعينيّات، بدأت بعض شركات الهواتف العامة توفير خدمة خط المشترك الرقمي؛ فوصل معدل نقل البيانات إلى ١٦٠ كيلوبت في الثانية في كلا الاتجاهين. وبإمكان هذا الخط نقل ثلاث قنوات اتصال: اثنتان منها بسعة ٦٤ كيلوبت في الثانية، ويمكن لكل منهما حمل مكالمة هاتفية أو «نسيخة» (فاكس) أو إشارة تلفزيونية بطيئة المسح لأغراض الهاتف الڤيديوي؛ والثالثة بسعة ١٦ كيلوبت في الثانية، لأغراض التأشير والتحكم. ونظرا لقدرة هذه الشبكة على نقل أنواع مختلفة من المعلومات، أطلق عليها اسم الشبكة الرقمية المتكاملة الخدمات. وهي تمتاز بإمكانية ربط ثمانية أجهزة مختلفة، كالهواتف والحواسيب وأجهزة الناسوخ، على الخط نفسه؛ ولكل جهاز رقمه الخاص، مقابل رقم واحد للخط في الشبكة الاعتيادية. وانتهى القرن العشرون، وما زال حُلم مهندسي الاتصالات بناء شبكة رقمية متكاملة الخدمات، واسعة النطاق، تستطيع نقل جميع أنواع المعلومات؛ بما فيها الإشارات التلفزيونية. وهذا يتطلب إجراء تعديلات جوهرية على معمارية الشبكة وپروتوكولاتها؛ كاستبدال بالمقاسم الإلكترونية الهاتفية وخطوط النقل بين المقاسم تكنولوجيات ومُعَدّات جديدة للتراسل والتبديل، قادرة على التعامل مع مختلف أنواع المعلومات، مثل تكنولوجيات نمط النقل اللامتزامن والتراتب الرقمي المتزامن. وتعمل تكنولوجيا نمط النقل اللامتزامن على نقل البيانات الرقمية لمختلف أنواع إشارات المعلومات وتبديلها باستخدام التبديل الرزمي. وتتميز هذه التكنولوجيا بثبات حجم الرزمة على خلاف رزم شبكات الحواسيب المتغيرة الحجم. وهذا يساعد على تصميم معدات نقل وتوزيع ذات كفاءة عالية وذات تأخير زمني يمكن التحكم به؛ بحيث يمكن نقل المكالمات الهاتفية والإشارات التلفزيونية من خلالها، والاستغناء عن أنظمة التبديل الداراتي ذات الكفاءة المتدنية. أما تكنولوجيا التراتب الرقمي المتزامن، أو ما يسمى الشبكة الضوئية المتزامنة

في النظام الأمريكي، فهي تكنولوجيا تراسل ذات معدلات نقل عالية تستخدم في ربط عقد الشبكات الرقمية. وغالبا ما تستخدم كبول الألياف الضوئية قنوات للاتصال، نظرا لقدرتها الفائقة على نقل هذه المعدلات العالية من البيانات.

و- شبكات الهواتف المتنقلة والخلوية

ظهرت فكرة أنظمة الاتصالات المتنقلة مع ظهور الإرسال اللاسلكي في بداية القرن العشرين. لكن، بسبب الحجم الكبير لأجهزة الإرسال والاستقبال وحاجتها إلى طاقة عالية لتشغيلها، تأخر استخدامها إلى بداية الأربعينيّات؛ حيث استخدمت في أنظمة الملاحة الجوية والبحرية وفي الاتصالات العسكرية. أما استخدامها في أنظمة الهواتف، فقد تأخر إلى بداية الثمانينيّات، بعد نُضج تكنولوجيات الدارات المتكاملة والمعالجات الدقيقة، التي ساعدت على تصنيع هواتف صغيرة الحجم خفيفة الوزن، قليلة الاستهلاك للطاقة، يمكن حملها بالمركبات الصغيرة. ونظرا لقلة الترددات المتاحة لشبكات الهواتف اللاسلكية، فقد استخدم نظام الهواتف الخلوية بتقسيم المنطقة الجغرافية المراد تغطيتها إلى عدد من المناطق تسمى خلايا، يتراوح قطر الواحدة منها بين نصف كيلومتر وبضعةكيلومترات، وتوجد في كل خلية محطة قاعدية تؤمن الاتصال لكل مشترك يدخل إليها. ويمكن في هذا النظام زيادة عدد المشتركين بشكل كبير، بإعادة استخدام الترددات المتاحة؛ لكن بطريقة مدروسة، تفاديا للتداخل بين المكالمات المنقولة على التردد نفسه في الخلايا المتجاورة. ويتكون نظام الهواتف الخلوية من محطات قاعدية وهواتف متنقلة ذكية تتخاطب فيما بينها باستمرار، من خلال قنوات التأشير والتحكم لتأمين الترددات اللازمة لإجراء المكالمة، وتُربط المحطات القاعدية مع مركز تبديل وتحكم خاص بشبكة الهواتف الخلوية لتأمين الاتصال بين جميع المشتركين؛ كما يُربط هذا المركز بمراكز تبديل شبكة الهواتف العامة لتأمين الاتصال مع مشتركي هذه الشبكة.

بدأ استخدام الهواتف الخلوية التماثلية في مطلع الثمانينيّات بهواتف كانت تُحمل في المركبات. ومع تطور تكنولوجيا الدارات المتكاملة، صُنعت هواتف خلوية صغيرة

الحجم خفيفة الوزن يمكن حملها. وفي عام ١٩٩٢، ظهر في أوروبا النظام العالمي للاتصالات المتنقلة، الذي يستخدم التكنولوجيا الرقمية بدل التكنولوجيا التماثلية، ويمتاز بإمكانية زيادة عدد المشتركين باستخدام تكنولوجيات متقدمة لضغط الصوت. وفي منتصف التسعينيّات، بدأ في أمريكا العمل لتطوير نظام جديد للهواتف الخلوية، هو نظام الاتصالات الشخصي، الذي يستخدم الأقمار الصناعية غير المتزامنة ذات المدارات المنخفضة والمتوسطة (ومحطات قاعدية يمكنها التقاط إشارات الهواتف الخلوية الضعيفة لقربها من الأرض)؛ غير أنها لا تظهر في سماء المنطقة إلا لفترة زمنية معينة نتيجة لعدم تزامن دورانها مع دوران الأرض، كما في الأقمار المتزامنة. لهذا، لا بد من وضع عدد كاف من هذه الأقمار في مدارات عدة توزع فيها أقمار المدار الواحد على محيطه بانتظام؛ بحيث كلما غاب أحدها، طلع القمر الذي يليه، فتحول المكالمات تلقائيا إليه. لقد بدأت شركات عالمية عدة ببناء مثل هذه الأنظمة، أشهرها: نظام شركة مترولا، الذي يتكون من ٦٦ قمرا موزعة على ستة مدارات دائرية فوق قطبية (١١ قمرا في كل مدار على ارتفاع ٧٨٠ كيلومتراً)، ويشع كل قمر ٤٨ شعاعا، يغطي كل شعاع منها خلية بمساحة أرضية يبلغ قطرها ١٥٠ كيلومتراً، ويستطيع القمر الواحد معالجة ١١٠٠ مكالمة هاتفية في آن معاً. وبلغ عدد الهواتف الخلوية عام ١٩٨٨ في العالم ٤ ملايين، وارتفع إلى ما يزيد على ٥٠٠ مليون عام ١٩٩٩. ويتوقع في المستقبل القريب أن يتجاوز عددُ الهواتف الخلوية عددَ الهواتف الثابتة، التي بدأ معدل الاشتراك فيها بالتناقص.

ز ـ شبكات اتصالات الحواسيب وشبكة الإنترنت

بدأ العمل على تطوير شبكات اتصالات الحواسيب في الستينيّات من القرن العشرين؛ حين قامت وزارة الدفاع الأمريكية بدعم مجموعة باحثين لدراسة أنجع السبل للحفاظ على أدنى قدر من التراسل بين مراكز معلوماتها، فيما لو تعرض بعضها للدمار في حالة الحرب. فاقتُرح بناء شبكة معلومات يكون التحكم فيها موزعا على جميع عقد الشبكة. واستخدم في هذه الشبكة التبديل الرزمي بدل التبديل الداراتي؛

حيث تقسّم الحواسيب الرسالة إلى رزم، تحتوي كل منها على جزء من معلومات الرسالة الأصلية؛ إضافة إلى معلومات تتعلق بترتيب هذه الرزم وعنوان العقدة المرسلة والمستقبلة؛ ثم ترسل الرزم إلى أقرب عقدة تقع في اتجاه العنوان المطلوب؛ فتقذفها بدورها لعقد أخرى في الشبكة، حتى تصل إلى العقدة النهائية التي تجمع الرزم لاسترجاع الرسالة الأصلية. وفي عام ١٩٦٩، بُنيت أول شبكة من هذا النوع، أطلق عليها اسم (أربانت)، لربط مجموعة من الحواسيب الفائقة السرعة. وبدأت هذه الشبكة بالتوسع، حتى وصل عدد العقد في عام ١٩٧٢ إلى ٣٧ عقدة. وزامن ذلك ظهور شبكات حاسوبية أخرى؛ كشبكة الإيثرنت (١٩٧٤) المستخدمة في الجامعات ومراكز البحوث، وشبكة اليوزنت (١٩٧٩)، وشبكة البتنت (١٩٨١). لكن بقيت كل منها مستقلة عن الأخرى. وفي عام ١٩٨٠، بدأ العمل على ربط هذه الشبكات غير المتجانسة مع بعضها بعضًا لإنشاء ما يسمى شبكة الشبكات أو الإنترنت، باستخدام پرتوكول ربط جديد طوّر عام ١٩٧٧. ومع ظهور الحواسيب الشخصية في الثمانينيّات وتزايد شبكات الحواسيب المحلية، بدأت شبكة الإنترنت بالتوسع حتى وصل عدد العقد فيها إلى عشرة آلاف عقدة عام ١٩٨٩. واقتصر استخدامها على العلماء والباحثين وطلبة الجامعات لنقل الملفات والبرامج والبريد الإلكتروني. أما ثورة الإنترنت الحقيقية، فقد بدأت من المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات CERN؛ بعد أن اقترح أحد باحثيه طريقة فريدة للوصول إلى المعلومات المبعثرة في مواقع شبكة الإنترنت، من خلال ما يسمى نظام التصفح. فبموجب هذا النظام، يمكن للمستخدم الوصول إلى ما يريده من معلومات من خلال التأشير والنقر بالفأرة على كلمات معينة موجودة على الصفحة المعروضة على شاشة الحاسوب؛ فتأتي له بصفحات جديدة. وتمكن هذا الباحث عام ١٩٩٠ من تطوير أول پرتوكول للتصفح. وفي عام ١٩٩٢، أنشئ أول موقع للتصفح، أو ما سمي خادم الشبكة؛ مؤذنا بميلاد ما يسمى شبكة المعلومات العالمية أو الشبكة العنكبوتية. وفي عام ١٩٩٥، طوّرت متصفحات تجارية عالية الكفاءة؛ ما أدى إلى تزايد أعداد المشتركين في شبكة الإنترنت بشكل غير متوقع. فارتفع عدد المشتركين من مئة ألف عام ١٩٨٩ إلى ثلاثة وأربعين مليونا عام ١٩٩٩. أما

عدد خدام الشبكة، فقد كان ستمئة خادم عام ١٩٩٤، وبلغ أربعة ملايين عام ١٩٩٩.

تقدم شبكة الإنترنت لمستخدميها عددا لا حصر له من الخدمات؛ كخدمة البريد الإلكتروني، التي تتيح للمستخدم إرسال رسائله إلكترونيا إلى أي مشترك آخر على الشبكة؛ وخدمة البحث والتصفح، التي تمكن المستخدم من الوصول إلى عدد لا حصر له من المواقع التي تحوي مختلف أنواع المعلومات بمساعدة مجموعة من آلات البحث؛ وخدمة التجارة الإلكترونية، التي تتيح للصناع والتجار عرض منتجاتهم وبضائعهم على الشبكة، وتمكّن الزبائن من التجول في هذه الأسواق الإلكترونية ومقارنة البضائع المعروضة. وتتكون شبكة الإنترنت من عدد ضخم من الشبكات المحلية ومواقع المعلومات، التي تتراسل فيما بينها بواسطة حواسيب ذات إمكانات متقدمة تسمى البوابات، تقع عليها مسؤوليّة إرسال رزم المعلومات واستقبالها. وتربط هذه الشبكات والمواقع باستخدام أنظمة اتصالات خاصة؛ أو من خلال شبكات الهواتف العامة، التي سهلت بشكل كبير انتشار خدمة الإنترنت، خاصة لمشتركي المنازل الذين يستخدمون خط الهاتف للتراسل مع مواقع الشبكة. ومع تزايد الطلب على خدمة الإنترنت، الذي يتوقع له أن يتضاعف كل ثلاثة أشهر، أصبحت الحركة الناتجة عن خدمة الإنترنت على خطوط التراسل في الشبكة الهاتفية العامة تنافس الحركة الهاتفية؛ ما دفع بكثير من الشركات إلى بناء أنظمة اتصالات عملاقة، مثل: كبول الألياف الضوئية البرية والبحرية، التي تربط الدول مع بعضها بعضاً؛ ومنظومات الأقمار الصناعية التي ستعمل على نقل الحركة الناتجة عن الإنترنت؛ إلى جانب تقديم هذه الخدمة مباشرة من الأقمار الصناعية إلى المنازل. ومن هذه المشروعات العملاقة: مشروع «تليديسك» المتمثل بوضع ٢٨٨ قمرا صناعيا في ١٢ مدارا أرضيا منخفضا على ارتفاع ٣٧٥ كيلومترا. وهنالك مشروعات عدة لاستخدام أقمار صناعية متزامنة، يكفي ثلاثة منها لتغطية معظم سطح الأرض.

٦. أنظمة البث

يتكون نظام البث من مرسل واحد، يبث المعلومات على شكل موْجات

كهْرَمغناطيسية إلى عدد كبير من المستقبلات المزودة بهوائيات الاستقبال المناسبة. وتنتشر الموْجات المبثوثة من المرسل على شكل موْجات سطحية أو جوية أو فضائية، تبعا لقيمة التردد ونوع هوائيات البث المستخدمة. ويستخدم في هذه الأنظمة بعض أنواع التعديل التي تقلل من كلفة تصنيع أجهزة الاستقبال؛ لكن غالبا ما يقابل ذلك هدر في طاقة البث، وفي عرض النطاق الذي تحتله محطات البث.

أ- البث الإذاعي

بدأ التفكير بالبث الإذاعي مع اكتشاف الموْجات الكهرمغناطيسية عام ١٨٩٠؛ لكن، بسبب غياب مولدات الذبذبات ومضخمات الإشارات، تأخر اختراع الصمام الإلكتروني إلى عام ١٩٠٦ على يديّ الأمريكي دي فورست، الذي بنى أول جهاز بث لاسلكي عام ١٩٠٧. وفي عام ١٩١٨، افتتحت أول محطة بث إذاعي رسمية في أمريكا، لتبدأ بعدها محطات البث بالانتشار السريع في أمريكا وبقية دول العالم. ودخل الراديو إلى كثير من المنازل. وكان حجمه بحجم جهاز التلفزيون، بسبب استخدام الصمامات الإلكترونية فيه. ومع اختراع الترانزستور عام ١٩٤٧ واستخدامه بديلا للصمام، تقلصت أحجام أجهزة الراديو ليصبح بعضها بحجم الكف أو أصغر.

استخدم البث الإذاعي تعديل الاتساع لتحميل الإشارات الصوتية على الحاملات الراديوية، التي تقع تردداتها في نطاق الترددات المنخفضة والمتوسطة. لكن، بعد اكتشاف الموْجات القصيرة عام ١٩١٩ وتكنولوجيا تعديل التردد عام ١٩٣٣، ظهر نوعان آخران من البث الإذاعي، هما: راديو الموْجات القصيرة، وراديو تعديل التردد. ويعمل راديو تعديل الاتساع اليوم في نطاق الترددات المتوسطة بواقع ١٠ كيلوهيرتز لكل محطة راديوية، وتنتشر موْجاته على شكل موْجات سطحية لا يتجاوز مداها بضع مئات من الكيلومترات. أما راديو الموْجات القصيرة، الذي يستخدم تعديل الاتساع أيضا، فيعمل في نطاق الترددات العالية وتنتشر موْجاته على شكل موْجات جوية يصل مداها إلى بضعة آلاف من الكيلومترات؛ لكن، لا يستقبل بثه إلا في فترات

محدودة بسبب اعتماده على طبقات الأيونسفير، التي تتأثر خصائصها بموقع الشمس. وأما راديو تعديل التردد، فيعمل في نطاق الترددات العالية جدا، بواقع ٢٠٠ كيلوهيرتز لكل محطة. ويتميز هذا البث بنوعية صوت عالية بسبب إرسال الإشارة الصوتية بكامل نطاقها، وبسبب مقاومة تعديل التردد للضجيج؛ لكن عيبه يكمن في عدم وصول البث إلى أكثر من بضع عشرات من الكيلومترات، بسبب انتشاره على شكل موْجات فضائية لا ينحني مسارها مع انحناء سطح الأرض، كما في الموْجات السطحية. وبالرغم من أن الطيف الترددي المخصص لمحطات البث الراديوي لا يتسع لأكثر من بضع مئات من المحطات، فإنه بإعادة استخدام الترددات نفسها في المحطات المتباعدة جغرافيا يمكن زيادة عدد محطات البث إلى مئات الآلاف. مثلا، يوجد في الولايات المتحدة ما يزيد على عشرة آلاف محطة بث راديوي، معظمها من نوع تعديل التردد. وقد أمكن استخدام الأقمار الصناعية لبث المحطات الإذاعية ضمن عرض النطاق المخصص للقنوات التلفزيونية؛ إذ يمكن تحميل محطات إذاعية عدة مع كل محطة تلفزيونية، ويمكن الاستماع إليها من خلال جهاز التلفزيون، بتوليف تردد حامل الصوت في الإشارة التلفزيونية.

ب ـ البث التلفزيوني

قام الأمريكي كيري عام ١٨٧٥ بأول محاولة لنقل الصور باستخدام الكهرباء، وذلك بتسليط الضوء المنعكس عن الصورة على لوح مرصع بعدد كبير من الخلايا الضوئية التي تولد تيارات كهربائية، تنقل بالأسلاك إلى عدد مماثل من المصابيح الكهربائية الصغيرة والمتراصة، فتضيء بدرجات متفاوتة؛ راسمة بذلك ظلال الصورة الأصلية. وفي عام ١٨٨٤، تمكن الألماني نبكو من تقليص العدد الكبير من الخلايا والمصابيح إلى خلية واحدة ومصباح واحد، باستخدام نظام مسح آلي مكون من قرص بعدد كبير من الثقوب، يُمرّر عند تدويره الضوء إلى الخلية التي تحوله إلى تيار كهربائي، ينقل بسلكين إلى مصباح مثبت أمام قرص مثقب آخر؛ فيرسم عند تدويره ظلال الصورة الأصلية بشرط أن يتزامن دوران القرصين. أما التطور الأكثر أهمية في تاريخ

التلفزيون، فهو اختراع أنبوب الأشعة المهبطية عام ١٨٩٧، الذي استخدم كشاشة لإظهار الصور عام ١٩٢٥، وكمرة تلفزيونية عام ١٩٢٩، من خلال استخدام المسح الإلكتروني بدل المسح الآلي. وفي عام ١٩٣٥، حققت ألمانيا أول بث تلفزيوني غير ملون؛ تبعتها فرنسا في العام نفسه، وبريطانيا عام ١٩٣٦، والولايات المتحدة عام ١٩٣٩. أما البث التلفزيوني الملون، فقد بدأ في الولايات المتحدة عام ١٩٥٤؛ لكنّه تأخر في الدول الأوروبية إلى بداية الستينيّات.

تعمل الكمرة التلفزيونية وجهاز التلفزيون على مبدأ خداع العين البشرية؛ بحيث يخيل لها عند عرض مجموعة من الصور المتلاحقة لمشهد ما، بمعدل يزيد على ١٦ صورة في الثانية، أن هذا المشهد متحرك، ويخيل لها كذلك عند النظر لنقطتين مضاءتين ومتجاورتين كأنهما نقطة واحدة. وعلى هذا، تقوم الكمرات التلفزيونية غير الملونة بالتقاط ٣٠ صورة في الثانية في النظام الأمريكي، و٢٥ صورة في الثانية في النظام الأوروبي؛ ثم تحول شدة إضاءة النقاط الموجودة على كل صورة إلى إشارة كهربائية من خلال عملية مسح إلكترونية بمعدل ٥٢٥ خطا للصورة في النظام الأمريكي، و ٦٢٥ خطا في النظام الأوروبي. وفي الكمرات الملونة، يوجد ثلاثة مرشحات ضوئية تحول الصورة إلى ثلاث صور، تمثل محتوياتها من كل من اللون الأحمر والأخضر والأزرق، وتمسح هذه الصور إلكترونيا لتحويلها إلى ثلاث إشارات كهربائية؛ ثم تدمج في إشارة كهربائية مركبة واحدة.

يتكون جهاز التلفزيون الملون من جهاز استقبال، يستخلص إشارات اللون من الإشارة الكهربائية المركبة؛ ومن أنبوب أشعة مهبطية، يتكون من ثلاث قاذفات إلكترونية؛ ومن شاشة مغطاة بعدد كبير جدا من الحبيبات الفسفورية المرتبة على شكل مجموعات، يتألف كل منها من ثلاث حبيبات تشع الألوان الأساسية عند قذفها بالإلكترونات. وعند تسليط إشارات اللون على مهابط القاذفات الإلكترونية الثلاث، للتحكم بشدة الأشعة الإلكترونية المنبعثة منها، تبدو كل مجموعة فسفورية للعين نقطة واحدة بلون واحد، هو اللون الناتج عن مزج الألوان الأساسية الثلاثة. ويتكون نظام البث التلفزيوني الأرضي من محطة بث أرضية تبث في جميع الاتجاهات، من خلال

هوائي منصــوب على برج مـرتفع، ليـصل البث إلى أبعـد مـدى ممكن. ويتم البث باستخدام الترددات العالية جدا وفوق العالية، التي تنتشر كموْجات فضائية لا تزيد فيها مسافة التغطية في الغالب على مئة كيلومتر. ويصل عرض نطاق الإشارة التلفزيونية إلى ستة ميغاهيرتز. لهذا، فإنه يلزمها حامل عالي التردد؛ ما أوجب تخصيص بعض أجزاء نطاقي الترددات العالية جدا وفوق العالية لأغراض البث التلفزيوني، لتستوعب ٨٣ قناة تلفزيونية، ابتداء من ٥٤ ميغاهيرتز. لكنها قلّصت إلى ٦٩ قناة، بإلغاء القنوات ذات الأرقام من ٧٠ إلى ٨٣، لإتاحة المجال لاستخدامات أخرى، مثل أنظمة الهواتف الخلوية.

ج ـ التلفزيون الرقمي والتلفزيون الرقمي العالي الوضوح

تأخر استخدام التكنولوجيا الرقمية في البث التلفزيوني، بسبب وجود مئات الملايين من التلفزيونات التي يجب أن تعدل أو تبدل في حالة تطوير نظام تلفزيوني جديد. بدأ العمل على تطوير التلفزيون الرقمي عام ١٩٩٣. وبدأت شركات البث التلفزيوني الفضائي باستخدامه بعد منتصف التسعينيّات؛ حين تمكنت باستخدام تكنولوجيات ضغط متقدمة من بث عشر قنوات تلفزيونية عبر المستجيب القمري الواحد، مقابل قناة واحدة في النظام التماثلي. وفي أواخر القرن العشرين، بدأ التحول إلى التكنولوجيا الرقمية في أنظمة البث الأرضية، بواقع أربع قنوات تلفزيونية رقمية عادية أو قناة تلفزيونية رقمية عالية الوضوح، مقابل قناة تماثلية واحدة؛ ما دفع هيئة الاتصالات الفدرالية الأمريكية إلى إعطاء مهلة لمحطات البث الأرضية حتى نهاية عام ٢٠٠٦ للتحول إلى البث الرقمي. إن التحول للبث الرقمي لا يعني بالضرورة استخدام تلفزيون رقمي؛ بل يمكن استقبال الإشارات التلفزيونية الرقمية بواسطة جهاز استقبال رقمي يحوّل الإشارة الرقمية إلى إشارة تماثلية تغذي جهاز التلفزيون العادي. أما التلفزيون الرقمي العالي الوضوح، فقد عمل الأمريكيون واليابانيون على تطويره بسبب التدني في وضوح الصورة في نظامهم؛ إذ يبلغ عدد خطوط المسح فيه ٥٢٥ خطا، مقابل ٦٢٥ خطا في النظام الأوروبي. ويبلغ عدد خطوط المسح في أحد

الأنظمة المقترحة ١٠٨٠ خطا؛ كما تبلغ نسبة العرض إلى الارتفاع في الشاشة ١٦ إلى ٩، مقابل ٤ إلى ٣ في الأنظمة الحالية. وتبدو الصورة في هذا النظام كأحسن الصور المعروضة على الشاشات السينمائية. لكن، تواجه هذا النظام مشكلات عدة، أهمها عدم التوافق مع الأنظمة المستخدمة حاليا، وعرض النطاق الكبير الذي تحتله الإشارة التلفزيونية على الطيف الترددي؛ إذ تحتل حيزا يتسع لأربع إشارات تلفزيونية عادية في حالة الإرسال التماثلي. إلاّ أنّه، مع التحول إلى نظام البث الرقمي، أصبح بالإمكان بث إشارة تلفزيونية رقمية عالية الوضوح، ضمن عرض النطاق المخصص للإشارة التلفزيونية التماثلية.

د ـ البث التلفزيوني بالكبول والبث التلفزيوني من الأقمار الصناعية

بدأ استخدام الكبول المحورية لتوزيع الخدمة التلفزيونية على المشتركين مع ظهور البث التلفزيوني. فقدمت بعض الشركات هذه الخدمة للمناطق التي لا تصلها الإشارات التلفزيونية الهوائية؛ إما لبعدها، أو لوجود عوائق طبيعية تحول دون وصولها. وتزايد الطلب على هذه الخدمة، بعد أن وفرت هذه الشركات عددا كبيرا من القنوات التلفزيونية التي تلتقطها المحطات التلفزيونية البعيدة، أو التي تجمع برامجها من المواد المسجلة على أشرطة الفيديو. ويتكون نظام الكبول التلفزيوني من محطة رئيسية تجمع القنوات التلفزيونية من مصادرها المختلفة بواسطة الهوائيات التلفزيونية، والكبول المحورية، ووصلات الموْجات الدقيقة، والأقمار الصناعية؛ ثم تنقل هذه القنوات عبر كبول محورية إلى المناطق المخدومة، التي يتفرع منها كبول لمنازل المشتركين. وتنتشر خدمة الكبول التلفزيونية على نطاق واسع في معظم الدول؛ ذلك أنّها تمتاز بنقاء الإشارات التلفزيونية، ووجود عشرات القنوات التلفزيونية، وإمكانية تقديم برامج حسب طلب المشترك بما يسمى الخدمة التلفزيونية تحت الطلب. ومع ظهور خدمة البث التلفزيوني المباشر من الأقمار الصناعية، بدأت هذه الخدمة بالتراجع؛ لكن، يتوقع لها أن تزدهر مع التوجه لاستخدام كبول الألياف الضوئية، التي يمكنها حمل عدد كبير من القنوات التلفزيونية؛ إلى جانب نقل خدمات أخرى، كخدمة

التلفزيون تحت الطلب، وخدمة الإنترنت. أما خدمة البث التلفزيوني المباشر من الأقمار الصناعية للمنازل، فقد بدأت بالظهور في الثمانينيّات من القرن العشرين؛ بعد زيادة قدرة بث الأقمار الصناعية نتيجة لرفع كفاءة الخلايا الشمسية، وزيادة حساسية المستقبلات الأرضية.

يتكون هذا النظام من قمر صناعي متزامن، يقع فوق المنطقة المراد تغطيتها، ويحمل عشرات المستجيبات التي يمكن لكل منها استقبال قناة تلفزيونية أو أكثر من المحطات الأرضية؛ فتعيد بثها إلى الأرض لتلتقطها هوائيات في المنازل. ويمكن للمشترك اختيار القناة التلفزيونية من بين مئات القنوات، بتوجيه الهوائي يدويا أو تلقائيا باتجاه أحد الأقمار الصناعية الموجودة في سماء تلك المنطقة. ومع نهاية القرن العشرين، أصبح عدد أقمار البث التلفزيوني المباشر أكثر من مئة قمر موزعة على المدار المتزامن؛ بحيث تغطي مناطق جغرافية متعددة على سطح الأرض، وتبث آلاف القنوات التلفزيونية لمختلف الأغراض. ومع التحول من البث التماثلي إلى البث الرقمي، زيد عدد القنوات التي تبثها هذه الأقمار إلى عشرة أضعاف ما كانت عليه؛ إلى جانب الحصول على درجات نقاء ووضوح عالية في الصوت والصورة.

٧. أنظمة الاتصالات العسكرية

تنهض أنظمة الاتصالات بدور بارز في الأنظمة العسكرية الحديثة. فهي ساعدت على اختصار الوقت والمسافات عند تنفيذ العمليات العسكرية؛ وقد يؤدي غيابها أو تعطلها أو سوء استخدامها في ساحة المعركة إلى إلحاق الهزائم بالجيوش والدول. وتوسعت ساحات المعارك بشكل كبير نتيجة لاستخدام أنظمة الاتصالات، وأصبحت العمليات العسكرية تدار من على بُعْد آلاف الكيلومترات. وقد يتوافر للقيادات العليا من المعلومات عن مجريات المعركة أكثر مما لدى القادة الميدانيين، بفضل سيل المعلومات التي تنقلها لهم أنظمة الاتصالات المختلفة. وتنقل أنظمة الاتصالات العسكرية الأوامر العسكرية بين وحدات الجيش المختلفة، وبين القيادات العليا والقادة الميدانيين، وكذلك

بين القادة والجنود. كما تجمع المعلومات عن وحدات العدو ومواقع تمركزه وتحركاته العسكرية وأسلحته ومعداته، وعن طبيعة ساحة المعركة الجغرافية والمُناخية. وبالرغم من الدور الكبير لأنظمة الاتصالات في تسهيل العمليات العسكرية، فإنّها قد تكون سببا في هزيمة الجيوش، إن لم تؤخذ الاحتياطات المناسبة حين استخدامها. فالإشارات اللاسلكية المنبعثة من أجهزة الاتصالات تنتشر في كل الاتجاهات، متيحة الفرصة للعدو لالتقاطها واستخدامها في تحديد مواقع هذه الأجهزة؛ فيعمل على تدميرها، أو التنصت عليها، أو تحريفها، أو التشويش عليها، للحيلولة دون وصول المعلومات إلى وجهتها. لهذا، فإنه، إلى جانب حرب النيران الظاهرة التي تدور رحاها بين الجنود، توجد حرب إلكترونية صامتة تدور رحاها بين أجهزة الإرسال والاستقبال اللاسلكية عند كلا الجانبين؛ وقد تكون نتيجة المعركة لصالح من يحسن إدارة هذه الحرب الإلكترونية، التي تتلخص في مهمتين أساسيتين: أولاهما، منع العدو من الاستفادة من الإشارات المنبعثة من الأجهزة والمعدات اللاسلكية، باستخدام طرق مختلفة لتشفير المعلومات وتعديلها وتمويهها بما يسمى الإجراءات الإلكترونية؛ وثانيهما، مراقبة جميع الإشارات اللاسلكية المنبعثة من أجهزة العدو لتحديد مواقعها وتدميرها، أو التنصت عليها، أو التشويش عليها لمنعه من الاستفادة منها، أو حتى بث إشارات مضللة مشابهة لها أو تبديل المعلومات بما يسمى الإجراءات الإلكترونية المضادة.

تخضع أنظمة الاتصالات العسكرية عند تصنيعها لشروط قاسية، من حيث اختيار نوعية المواد والأجهزة، لكي تعمل بموثوقية عالية تحت أقسى الظروف المناخية؛ وعليها أن تتسم بخفة الكتلة، وصغر الحجم، والمتانة، وبقلة استهلاكها للطاقة، لكي تعمل لفترات طويلة على البطاريات. أما الصفة الضرورية المميزة لها، فهي قدرتها على نقل المعلومات بين الوحدات المختلفة بأكبر درجات السرية والموثوقية؛ كي لا يتمكن العدو من كشف المعلومات العسكرية وتشويشها وتبديلها. لذلك، فهي تستخدم، على خلاف أنظمة الاتصالات المدنية، طرقا معقدة للتعديل والتعاقب والتشفير؛ كأنظمة اتصالات الطيف الممتد، وتعاقب التقسيم المشفر. وقد تلجأ الجيوش إلى استخدام الأنظمة السلكية، كالأسلاك والكبول المحورية وكبول الألياف الضوئية، لنقل

المعلومات بين الأفراد والآليات ضمن مناطق جغرافية محدودة لتقليل إمكانية التنصت والتشويش عليها، لكن مقابل التأخير الناتج عن مدها وتقييدها لحركة مستخدميها؛ على عكس الأنظمة اللاسلكية، التي تعطي حرية كبيرة لتحرك الآليات والأفراد. ومع انتشار أنظمة الأقمار الصناعية، بدأت هذه تنهض بدور بارز في تقديم شتى الخدمات للأغراض العسكرية، كنقل المعلومات العسكرية باستخدام هوائيات صغيرة تُنصب في ساحة المعركة لتأمين الاتصال بين طرفين موجودين في ساحة المعركة أو على بعد آلاف الكيلومترات، وتحديد مواقع الأهداف بدقة لامتناهية باستخدام أقمار أنظمة تحديد الموقع، وتصوير المواقع والأهداف باستخدام أقمار الرصد والتجسس.

٨. أنظمة اتصالات أخرى

من الصعب حصر أوجه استخدام أنظمة الاتصالات؛ إذ إنها، بسبب تدني كلفتها وصغر حجمها وقلة استهلاكها للطاقة، بدأت تدخل في تطبيقات متعددة. فساعدت على القيام بمهمّات كان يصعب القيام بها من دونها؛ إلى جانب تقليلها للجهد والمال والوقت والحيز اللازمة لأداء هذه المهمّات. ففي الملاحة الجوية، تساعد أنظمة الاتصالات أبراج المراقبة في المطارات على متابعة حركة الأعداد الضخمة من الطائرات الداخلة في أجوائها؛ فترتب مواعيد إقلاعها وهبوطها بشكل دقيق، وتتابع حركتها بين المحطات المختلفة؛ ما قلل كثيرا من حوادث الطيران. وفي الملاحة البحرية، جنّبت أنظمة الاتصالات السفن التجارية وناقلات النفط الكثير من المشكلات والخسائر المادية في أثناء عبورها للبحار والمحيطات، وجنّبت الموانئ الكثير من الاختناقات والتصادمات بين السفن. وبفضل أنظمة الاتصالات، أصبح تحديد الموقع والاتجاه يُنجز بدقة لامتناهية باستخدام نظام تحديد الموقع العالمي، الذي يحدد خط الطول وخط العرض والارتفاع في أي مكان على سطح الكرة الأرضية، باستخدام ٢٤ قمرا صناعيا موضوعة في ستة مدارات أرضية متوسطة، تبث إشارات توقيتية بشكل منتظم إلى الأرض. فيُستقبل بعضها بجهاز يدوي بسيط يحسب إحداثيات الموقع؛ مستفيدا من

التأخير الزمني بين الإشارات المتلقّاة. وقد استخدم هذا النظام في السفن والطائرات والمركبات والآليات العسكرية، وحتى من الأشخاص؛ إذ لا تتجاوز كلفة بعض أجهزة تحديد الموقع المئة دولار.

وفي رحلات استكشاف الفضاء، ساعدت أنظمة الاتصالات على إرسال مركبات فضائية إلى القمر وكواكب المجموعة الشمسية؛ إذ تستخدم أنظمة الاتصالات لنقل الأوامر من المحطات الأرضية إلى المركبات الفضائية للتحكم بمسارها ولنقل البيانات والمعلومات التي تجمعها أجهزة الاستكشاف الفضائية، إلى المحطات الأرضية. وتصميم أنظمة الاتصالات من أصعب المهمّات عند بناء المركبات الفضائية، لبُعْد المسافات بين المرسلات والمستقبلات التي تصل إلى ملايين الكيلومترات، ولمحدودية الطاقة الكهربائية المتوافرة على ظهر المركبة، التي تولد باستخدام الخلايا الشمسية أو المولدات الكهْرَحرارية. وبالرغم من كل هذه الصعوبات، فقد أرسل عدد كبير من المركبات الفضائية إلى القمر وإلى كواكب المجموعة الشمسية كافة؛ وأرسلت معلومات وصور عن أجوائها وطبيعة سطوحها وتربتها؛ ووضع عدد من الأقمار الصناعية والمحطات الفضائية حول الأرض وهي تحمل مقاريبَ (تلسكوبات) ضوئية وراديوية وأجهزة رصد واستشعار، تلتقط كل ما يصدر عن أجرام الكون من إشعاعات. فزودت العلماء بمعلومات قيمة عن الكون لم يكن بإمكانهم الحصول عليها من على سطح الأرض؛ لأن جو الأرض يمتص كثيرا من هذه الإشعاعات التي تحمل بصمات تاريخ تطور الكون.

وفي أنظمة الأرصاد الجوية، بُنيت شبكة من الأقمار الصناعية ومحطات الرصد الأرضية موزعة على أنحاء الكرة الأرضية، تقوم بجمع كميات ضخمة من الصور والبيانات عن الحالة الجوية في مختلف مناطق العالم، وترسلها إلى محطات الرصد الجوي لتعالجها وتوزعها على الجهات المعنية، لأخذ الاحتياطات اللازمة لمواجهة الظروف الجوية، والتقليل من عواقب الكوارث الطبيعية وحوادث الطائرات والسفن والقطارات والمركبات.

وفي المجال الطبي، تُستخدم أنظمة الاتصالات في مراقبة حالات المرضى في المستشفيات وفي البيوت وأماكن العمل، من خلال أجهزة قياس محمولة ترسل قراءتها بشكل متواصل لغرف المراقبة. وتُستخدم كذلك فيما يسمى خدمة التطبب عن بعد؛ فيمكن للأطباء المختصين فحص المرضى من على بعد مئات أو آلاف الكيلومترات، باستخدام أنظمة اتصالات سمعية ومرئية متقدمة؛ ما يجنّب المرضى والأطباء عناء السفر وتكاليفه. كما أصبح ممكنا إجراء بعض العمليات الجراحية عن بعد باستخدام الروابيط [جمع رابوط Robot].

وفي أنظمة الحماية ضد السرقات والحرائق، تُستخدم أنظمة الاتصالات في نقل الإشارات الصادرة عن كمرات المراقبة وأجهزة الإنذار في المؤسسات والمتاجر والبيوت إلى غرف المراقبة في المراكز الأمنية ومراكز الدفاع المدني؛ ما قلل كثيرا من خسائرها وكلفة حمايتها. وفي شركات الكهرباء، تُستخدم أنظمة الاتصالات للمراقبة والتحكم في الأجهزة والمعدات الموجودة في محطات التوليد والتحويل ومحطات الربط وخطوط النقل. وتُستخدم أيضا في قراءة العدادات المختلفة، بما فيها عدادات المنازل، ونقل القراءات إلى مراكز الحوسبة. وتُستخدم هذه الأنظمة في ربط البنوك بفروعها ومواقع الصراف الآلي؛ ما سهل على الزبائن إنجاز معاملاتهم المالية. وتساعد أنظمة الاتصالات شرطة السير والدفاع المدني في رفع كفاءة عملها بتسهيل الاتصال بين مراكزها ودورياتها، وفي بناء أنظمة مراقبة وتحكم وإنذار متطورة. وفي أنظمة التجسس، تُستخدم هذه الأنظمة لجمع شتى أنواع المعلومات السرية عن الأفراد والأحزاب والهيئات والحكومات والمصانع والجيوش، من خلال أجهزة تنصت ومراقبة تتكون من ميكرفونات وكمرات ومستشعرات ومرسلات، يكون بعضها من الصغر بحيث يمكن إخفاؤها في ساعة أو قلم أو هاتف. وتَستخدم الدول الكبرى الأقمار الصناعية في التجسس على كثير من الدول، بالتقاط إشارات المعلومات التي تبثها أجهزة اتصالاتها المختلفة؛ العسكرية منها والمدنية.

الخلاصة

وفرت تكنولوجيات الاتصالات والمعلومات للإنسان أكثر مما كانت تراوده أحلامه. فبمقدوره اليوم أن يتصل بمن يشاء على سطح هذه الأرض بواسطة هاتف صغير يحمله في جيبه؛ وأن يتابع بالصوت والصورة ما يقع من أحداث في العالم بواسطة معدات زهيدة الثمن، يستقبل بها آلاف المحطات التلفزيونية التي تبثها الأقمار الصناعية؛ وأن يتصفح بالحاسوب ما يريد من معلومات مخزنة في عدد لا يحصى من المواقع المبعثرة في جميع أنحاء العالم؛ وأن يحادث من يشاء بالصوت والصورة من خلال الهاتف الڤيديوي. لقد أصبحت وسائل الاتصالات ومصادر المعلومات من الكثرة؛ بحيث يحار المرء في كيفية توفير الوقت اللازم للتعامل مع هذا الكم الهائل من المعلومات المتوافرة بين يديه.

إن كلفة استخدام شبكات المعلومات آخذة بالانخفاض بشكل كبير، بسبب القدرة الهائلة للألياف الضوئية على نقل المعلومات. وسيؤدي هذا الانخفاض إلى انتشار «خدمات عن بُعْد» كثيرة كانت تحول دون تنفيذها الكلفة العالية لقنوات الاتصال؛ كخدمة التعلم والتعليم، والتطبب، والعمل، وإنجاز المعاملات، وحتى السياحة.

لقد حلت الألياف الضوئية إلى حد كبير مشكلة عرض النطاق اللازم لنقل كميات كبيرة من المعلومات؛ فأصبح بالإمكان نقل ما يعادل مليون مكالمة هاتفية من المعلومات في اللحظة نفسها على ليف زجاجي بحجم شعرة الإنسان. وسيرتفع هذا الرقم أضعافا مضاعفة، بسبب التطور المستمر في تكنولوجيات تعاقب التقسيم الموجي والمضخمات الضوئية. وحلت تكنولوجيات الإلكترونيات الدقيقة والمعالجات الدقيقة مشكلة تصنيع أجهزة ومعدات ذات قدرات جبارة، وبأحجام غاية في الصغر، ولا تستهلك إلا جزءا ضئيلا من الطاقة. وكان ذلك بتصنيع ملايين الترانزستورات على شرائح صغيرة من أشباه الموصلات؛ بحيث وصلت الأبعاد التي يحتلها الترانزستور على الشريحة إلى بضعة أجزاء من مليون جزء من المتر. وهذه الأبعاد قريبة من الحد الأدنى الذي يمكن الوصول إليه بتكنولوجيا التصنيع الحالية؛ ما يعني أنه لن يكون هنالك مزيد من التصغير في حجوم الأجهزة والمعدات الإلكترونية في الأعوام المقبلة، إلا إذا طوّرت طرق

جديدة شبيهة بالطرق التي تعالج بها المعلومات في العقل البشري وتخزين المعلومات الوراثية في الخلايا الحية، واستخدام الضوء بدل الكهرباء في معالجة المعلومات. وستشهد الأعوام القادمة المزيد من التطورات في تكنولوجيا الإلكترونيات الضوئية، التي ستحل محل الإلكترونيات الاعتيادية في بناء أنظمة الاتصالات والمعلومات؛ إذ إنها تستخدم الضوء بدل الكهرباء في نقل إشارات المعلومات ومعالجتها وتخزينها؛ ما سيرفع كثيرا من سرعة معالجة المعلومات ويزيد من السعة التخزينية لمعدات التخزين، كما هو الحال في الأقراص الضوئية. وبرفع كفاءة الخلايا الشمسية، سيمكن زيادة عدد المستجيبات على الأقمار الصناعية، وسيحصل مزيد من التقليص في حجوم هوائيات الاستقبال الأرضية. ومع تطوير تكنولوجيات جديدة لإظهار الصور على الشاشات، مثل تكنولوجيا العارضات البلورية السائلة بدل أنبوب الأشعة المهبطية، سيحصل مزيد من التقليص في الحيز الذي تحتله شاشات التلفزيونات والحواسيب. وسيساعد ذلك في انتشار الهواتف الڤيديوية والتلفزيونات المحمولة. ومع تحسين استغلال قدرات التكنولوجيا الرقمية، ستزيد كمية المعلومات التي يمكن نقلها أو تخزينها من خلال شبكات المعلومات، وستنتشر كثير من التطبيقات التي كانت تحتاج إلى عرض نطاق واسع على قنوات الاتصال، كالتلفزيون الرقمي العالي الوضوح والتلفزيون الثلاثي الأبعاد.

المراجع

١ . التقانات اللاسلكية ـ تقرير خاص ، مجلة **العلوم** ، المجلد ١٤ ، العدد ١١ ، ١٩٩٨ ؛ مؤسسة الكويت للتقدّم العلمي .

٢ . المواد للمعلومات والاتصالات (ج س مايو)، مجلة **العلوم**، المجلد ٣، العدد ٤ ، ١٩٨٧ ؛ مؤسسة الكويت للتقدّم العلمي .

٣ . ثورة المعلومات (مقال مترجم)، **آفاق علمية** ، آذار ـ نيسان ١٩٨٦ ؛ مؤسسة عبدالحميد شومان .

٤ . ثورة التلفزيون الرقمي (مقال مترجم)، **آفاق علمية**، أيار ـ حزيران ١٩٨٩ ، مؤسسة عبدالحميد شومان .

٥ . أنظمة الاتصالات الضوئية ، منصور العبادي ، **آفاق علمية**، كانون الثاني ـ شباط ١٩٨٦ ؛ مؤسسة عبدالحميد شومان .

6. *Telecommunications Primer*, Graham Langley, 2nd Edition, 1986, Pitman.

7. *Telecommunications Engineering*, J. Dunlop and D. G. Smith, 2nd Edition, 1989, Van Nostrand-Reinhold .

8. *Telecommunications System Engineering*, R.L. Freeman, 1st Edition, 1980, Wiley.

9. *Telecommunications history timeline*, *www.webbconsult.com*.

الفصل الثّامن

العلوم الطّبيّة

أ. د. وليد المعاني



العلـــــوم الطبّيــــــة

الأستاذ الدّكتور وليد المعاني

مقـدّمـة

حين عهد إليَّ الأخ والصديق الأستاذ الدكتور هُمام غَصيب بالكتابة عن هذا الموضوع - وقبلْتُ ذلك شاكرًا ومُمْتَنًّا - أدركتُ مدى المسؤولية والعبء الذي ألقاهُ على كاهلي؛ ليس لِسعة الموضوع وتعقيده وصعوبة الإلمام به حسبُ، وإنّما أيضًا لإدراكي أنّ الكتابة فيه لفائدة القرّاء من مختلِف المشارب والمستويات الثقافية والعلمية تقتضي جهدًا كبيرًا، لوضعه بالصيغة المبسّطة تبسيطًا غَير مُخِلّ وبالمستوى الذي يسهّل الفهم ومن ثمّ يعظّم الفائدة.

إن بيان الإنجازات في مجال العلوم الطبية في القرن العشرين والتحدث عنها واحدًا واحدًا لأمرٌ يقتضي أكثر من عدد الصفحات التي حدّدت لي؛ ومن ثمّ كان من الضروري إيجاد سبيل للتحدُّث عنها، دونما إغفالٍ للمُهمّ منها بصورة أكثر تفصيلاً من مجرّد التعداد، وأقلّ من الشرح المتخصص الذي يؤدي إلى الملل.

لقد تمكن الإنسان على مدى المئة سنة الماضية فقط من تطوير الوسائل الكفيلة بمحاربة الأمراض بصورة فعالة؛ وذلك عن طريق تطوير مفهوم التطعيم للوقايةِ من المرض، واستنباط أدوية جديدة، وتطبيق أساليب تشخيصية وأدواتٍ جراحيةٍ فعّالة.

لم يكُن معدّل عمر الإنسان في مطلع القرن العشرين يتجاوز ٤٥ سنة في الدول الصناعية؛ غير أنّه ارتفع ليبلغ ٧٥ سنةً في نهاية القرن. ولم يكُنْ هذا ممكنا لولا الجهدُ الذي بُذِل في فهم ماهية المرض، ووضع السياسات الكفيلة بمحاربته، وتخصيص الأموال اللازمة للبحث العلمي في مجال الصحة. لقد رصدت الدول مبالغَ مالية ضخمة لمجال الرعاية الصحيّة، وانخرطت أعداد أكبر من العاملين في تحقيق مبدأ الصحة المتكاملة للإنسان.

ولبيان كُلفة الرعاية الصحية، فإن تقرير منظّمة الصّحّة العالميّة لعام ٢٠٠٦ عن الواقع الصحي العالمي يذكر أنّ دولةً كالولايات المتحدة الأمريكيّةِ تنفق مبلغ ١٠٠٠ بليون (أي تريليون) دولار على الصّحّة سنويّا بمتوسّط ٤٠٠٠ دولار للشخص الواحد. ويشيرُ التقرير إلى أن فيها ما يقرب من ٧٣٠ ألف طبيب وطبيبة، و٢,٧ مليون ممرّضٍ وممرّضة، و٤٦٠ ألفًا من أطبّاء وطبيبات الأسنان. ولعلّ من الإنصاف أن نبيّن الإنفاق على الصحة في أي دولة على هيئة نسبة من دخلها القوميّ الإجماليّ. ففي الولايات المتحدة الأمريكيّة، بلغت تلك النسبة ١٣,١٪؛ في حين بلغت في المملكة الأردنية الهاشمية ٨,٨٪، طبقًا لتقرير منظمة الصحة العالمية لعام ٢٠٠٦. وتجدر الإشارة إلى أنّ الأردنّ يأتي في المركز الأول على المستوى العربي في هذا الشأن.

لا يمكن للرّعاية الصّحيّة أن تنجح وتتقدّم من دون توافُر كوادر لإدامتها، ومراكز لتقديمها، وكليّات صحيّة وطبيّةٍ لتخريج المتخصصين فيها، ومراكز بحث لاختراع الأجهزة وصناعة الدواء. ولضربِ مثالٍ على ذلك، يوجد في الولايات المتحدة الأمريكيّة ١٤٥ كلية للطب، وتبلغ نسبة الأطباء إلى عدد السكان فيها ٢,٦ لكل ١٠٠٠ نسمة. أمّا في الوطن العربي، فلا يتجاوز عدد كليّات الطب ٣٣ كليّة، وتبلغ نسبة الأطباء إلى عدد السكان فيه ١,٨ لكل ١٠٠٠ نسمة؛ علمًا بأنّ النسبة الأخيرة في الأردن هي في حدود ٢,٢ لكلّ ١٠٠٠ نسمة.

تبلغ كلفة استنباط دواء جديد ما يقرب من ٣٦٠ مليون دولار. وقد أنفقت شركات الأدوية ٢٦ بليون دولار عام ٢٠٠٠ على استنباط أدوية جديدة. ومن المثير للجَدَل أنّ المبالغ المخصصة لاستنباط وسائلَ علاجيّة لكثيرٍ من الأمراض الفتاكة، كالملاريا والسُّلّ (التّدرُّن الرئوي)، هي قليلةٌ بشكلٍ ملموس مقارنةً بالأدوية المستنبطة لعلاج الأمراض الأخرى؛ الأمر الذي شغَلَ بالَ المسؤولين في منظمة الصّحّة العالميّة.

لقد رأيت أن أتحدّث عن مجالاتٍ في العلوم الطبيّة والصحيّة جرى فيها تقدم هائل، أدى إلى تحسينٍ كبيرٍ في المجالِ الصحيّ للإنسان، وأن أُبيّن الإنجازات التي تحقّقت في كلِّ مجالٍ؛ بحيثُ يتسنّى للقارئ أن يَطّلعَ على الموضوع برُمَّتِهِ أو يَقْصُرَ قِراءَتَهُ على مجالٍ محدد. واجتهدت في تقسيم المجالات على النّحوِ الآتي:

أ ـ الأمراض المعدية والالتهابات؛

ب ـ علم الأشعة والتصوير الطبي؛

ت ـ نقل الأعضاء والأنسجة وزراعتها؛

ث ـ الغُدَدُ الصُّمّ والتغذية والتمثيل الغذائي؛

ج ـ الحَمْل والإنجاب وصحّة العائلة؛

ح ـ السّرطان وعلاجه؛

خ ـ أمراض القلب؛

د ـ الجراحة وفُروعُها؛

ذ ـ الصّحّة النفسية؛

ر ـ الوراثةُ والتكنولوجيا الحيويّة.

كما وَجدتُ من المُناسب أن أوردَ قائمةً بأسماءِ العلماء الذين حصلوا على جوائز نوبل في الطب خلال القرن الماضي واكتشافاتهم واختراعاتهم؛ ما يكمل الصورة، ويجعل من هذا العمل مصدرًا متكاملاً.

واللّه المُوفِّق.

الأمراض المُعدية والالتهابات

كانت الأمراض المعدية والالتهابات ـ وما زالت ـ تقتل ملايين الناس . فكم من أقوام وقبائلَ وأجناس قضى عيها مرض فتّاك واحد! تغير الأمر في بداية القرن العشرين ؛ حين تمكّن الطّبيب الألماني پاوْل إيرليخ Paul Ehrlich عام ١٩١٠ من إثبات أنّ مُركّبًا كيميائيّا يدعى أرسفينامين Arsphenamine يمتلك خصائص تجعل من الممكن أن يُستخدم لعلاج مرض الزّهري (السّفلس Syphilis) . وفتح بذلك الفضاء لاستعمال موادّ كيميائيّة محدّدة فيما يُعرف بالمعالجة الكيميائيّة Chemotherapy لعلاج أمراض معيّنة .

ظلّت الأمراض البكتيرية تفتك بالملايين من البشر . وانتظر النّاس إلى بدايات العَقْد الثالث من القرن العشرين ليكتشف علماءُ فرنسيون وألمان أن العقّار المُسمّى سلفوناميد Sulphonamide له قابلية لعلاج الأمراض التي تسبّبها البكتيريا العنقوديّة . ونتج عن ذلك البدء باستخدام المضادّ الحيويّ سلفوناميد، الذي عُدَّ دواءً أعجوبة وأنقذ الآلاف من الجرحى في الحروب التي تَلَتْ .



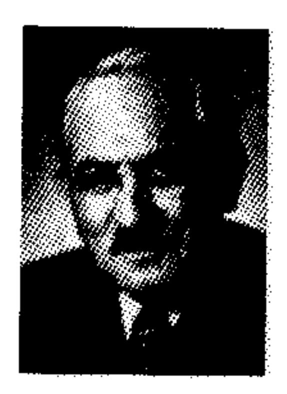
پاوْل إيرليخ (١٨٥٤ ـ ١٩١٥)

تمكن عالمُ الأحياء الاسكتلنديُّ أليكساندر فليمنغ Alexander Fleming في عام ١٩٢٨ من أن يفصلَ مركّبًا كيميائيًّا من عَفَن الخبز المسمّى پنيسيليم نوتاتم *Penicillium notatum*، أطلق عليه اسم پنيسلين Penicillin. إلا أن البشرية انتظرت عشرَ سنوات أخَر، أي حتى عام ١٩٣٨، ليقومَ العالمان الكيميائيان هوارد فلوري Howard Florey وزميله إرنست تشين Ernest Chain بتنقية المركّب ليُصبح في صورة قابلة للاستعمال. وحصل الثّلاثة نتيجة جهودهم على جائزة نوبل في علم وظائف الأعضاء عام ١٩٤٥. واستعمل هذا الدواء بصورة فعّالة في الحرب العالمية الثانية، وساهم في إنقاذ آلاف الجرحى.



بارون هوارد فلوري (١٨٩٨ - ١٩٦٨)؛ سير إرنست تشين (١٩٠٦ - ١٩٧٩)؛ سير اليكساندر فليمنغ (١٨٨١ - ١٩٥٥). حصلوا على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٤٥.

كان الهدفُ بعد ذلك هو مرض السُّلّ Tuberculosis، الذي كان مستفحلاً بين الطبقات الفقيرة التي كانت تعيش أوضاعًا بيئية صعبة. كان العالم الامريكيّ سلْمان واكسمان Selman Waxman يعمل منذ مدة طويلة في جامعة روتغرز Rutgers الأمريكيّة لإنتاج دواء مُضادّ لهذا المرض. ونجح في مَسْعاه عام ١٩٤٤، وسمّى الدواء الذي توصّل إلى إنتاجه ستريپتومايسين Streptomycin. وكان هذا العالمُ هو الذي أطلق لأول مرة اسم المضادات الحيوية Antibiotics على مثل ذلك الدّواء. لقد وُظّفت الأموال التي جُنيَت من هذا المضاد الحيوي في إنشاء أكاديمية كبرى لعلم الجراثيم بولاية نيوجيرسي الأمَريكيّة في حرم الجامعة نفسها. ونال واكسمان جائزة نوبل في الطب عام ١٩٥٢.



سِلمان واكسمان (١٨٨٨ ـ ١٩٧٣) . حصل على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٥٢.

تتالى بعد ذلك ـ وبتسارع ـ اكتشاف كثير من المُضادات الحيوية وإنتاجها . وكان كل دواء جديد أقوى وأكثر فعالية من سابقه . ولهذه الأدوية يُعزى الفضل في بقاء ملايين الناس على قيد الحياة . وما كان لهذه الأدوية وحدها أن تحمي البشرية لولا إدراك العلماء القاعدة الذهبيّة التي تنص على أنّ الوقاية خير من العلاج . ومن ثم فإنّ الكثير من الجهد انصبَّ على اكتشاف ما صار يُعرف لاحقًا بالمطاعيم ضد الأمراض؛ وذلك بعد أن فهم العلماء كيفية تفاعُل الجسم مع الأمراض، ومبدأ الأجسام المضادّة التي يكوّنها الجسم لمحاربة مرض مُعيَّن . صاحب ذلك إجراء تحاليل كيميائيّة لاكتشاف الأمراض؛ مثل تحليل واسّرمان Wasserman لمرض الزّهري عام ١٩٠٦ ، وتحليل التيوبركيولين Tuberculin لمرض السُّلّ عام ١٩٠٨ . وتبع ذلك التوصُّل إلى وسائل للكشف على الفيروسات عام ١٩٣٠ ، نتج عنها اكتشاف مطاعيم لمرض الحمّى الصّفراء Yellow fever عام ١٩٣٠ ، وأول مطعوم لمرض الإنفلونزا Influenza عام ١٩٤٠ .

كان هنالك مرض ما انفكّ يقتل عشرات الآلاف من البشر ، ويترك آخرين مصابين بعاهات جسديّة جسيمة . وكان يحتاج إلى مَن يهتدي إلى الحل . وأعني بذلك مرض شلل الأطفال ، الذي كان يخلّف الناس بلا حول ولا قوة لمقاومته . وجاء الفرج حين نجح كلٌّ من العالمين جوناس سالك Jonas Salk وألبرت سابين Albert Sabin في اكتشاف مطعوم لشلل الأطفال Poliomyelitis عام ١٩٥٤ ، استعمل على نطاقٍ واسع

منذ ذلك الحين. وتمكّن كثير من الدول ـ ومنها الأردن ـ من التغلّب على المرض؛ بحيث لم تُسجَّل فيها حالاتٌ جديدة منذ سنوات. وعلى الرغم من هذا الإنجاز العظيم، فلم يحصل أيٌّ من العالمين المذكورين على جائزة نوبل؛ غير أنّهما حصلا على جوائز أخرى كثيرة. وقد خلّدتهما الولايات المتحدة الأمريكيّة بإصدار طوابعَ بريدية تحمل صورتيهما.



جوناس سالك (١٩١٤ ـ ١٩٩٥)

ألبرت سابين (١٩٠٦ ـ ١٩٩٣)

لقد اكتُشفت منذ تلك الأيام ڤيروساتٌ جديدة تسبب أمراضًا قاتلة؛ منها الڤيروسات المسببة لحمى الإيبولا Ibula، وتلك المسببة لمرض نقص المناعة المكتَسَب AIDS في العقد الثامن من القرن العشرين. وما زال العلماء يسعوْن إلى اكتشاف الأدوية المناسبة لشفائها. وتجدُر الإشارة إلى أنه اكتُشفت أدوية تُخفف من آثار هذه الأمراض.

علم الأشعة والتصوير الطبي

أدى اكتشاف العالم الألماني رونتغن Röntgen مبدأ التّصوير بالأشعة السينية في نهاية القرن التاسع عشر إلى حدوث ثورة في التشخيص. فقد أصبح الطبيب قادراً على رؤية ما بداخل الجسم؛ إذ شاهدَ العظام لأوّل مرة، ورأى القلب والرئتين، وأصبح قادراً على التمييز بين العضو السليم والعضو المُصاب.

في عام ١٩٢٧، كان طبيب الأعصاب البرتغالي إيغاس مونيز Egas Monez يعمل في جامعة لشبونة. وكان قد عمل قبل ذلك عُضواً في البرلمان، ووزيراً للخارجية البرتغال. أجرى مونيز تجاربَ بطريقة جديدة للتمكّن من رؤية الشرايين والأوردة، عن طريق حقنها بمادة ظليلة، ثم تصويرها بالأشعة السينية. ونجح في ذلك؛ وأصبح تصوير الشرايين Angiography جزءاً أساسيًا من العملية التشخيصية. كان هذا يُنجَز عن طريق إدخال إبرة داخل الشريان أو الوريد. وبقي الأمر كذلك حتى عام ١٩٥٣؛ حين جاء العالم السويدي سڤن سيلدنغر Sven Seldinger واستعمل لأول مرّة أنبوبةَ قسطرة تُدخل إلى الجسم وتُسَاق فيه، لتصل إلى أيّ جزءٍ منه يُراد حقنه بالمواد الظليلة. وهي الطريقة التي لا تزال مستخدمة حتى اليوم.

إبّان الحرب العالمية الثانية، حاول طبيب نمساوي يدعى كارل دوسيك Karl Dussik استخدام موجات صوتيّة، بتردُّدات تتراوح بين ٢٥٠ و ٢٠٠٠ هيرتز، لتحديد موضع ورم دماغيّ؛ ونجح في ذلك عام ١٩٤٢. ومنذ ذلك الحين، أصبح التصوير بالموجات فوق الصوتية Ultrasound إحدى الوسائل المستخدمة يوميًا في التشخيص. فلا تخلو عيادة طبيب لأمراض النساء من جهاز لإثبات الحمل؛ كما استُخدمت تلك التقنية لاحقًا لتحديد جنس الجنين. واستُعملت أجهزة التصوير بالموجات فوق الصوتية في تشخيص أمراض الأجنّة داخل الأرحام، وتحديد أماكن وجود الأورام والحصى داخل الجسم. من ناحية أخرى، طُوّرت أجهزة من هذا النوع يمكن استخدامها داخل غُرف العمليات، لتحديد مواقع الكُييسات المائية Cysts، والحصى Stones، والأورام Tumors، في كثير من الأعضاء الداخلية. ويحبّذ الأطباء استخدام الموجات فوق الصوتية في التشخيص لعدم وجود أضرار تنجم عن ذلك.



مخترعو تصوير الشرايين والتصوير بالموجات فوق الصوتية والقساطر الشريانية:

إيغاس مونيز (١٨٧٤ ـ ١٩٥٥) ؛ كارل دوسيك (١٩٠٨ ـ ١٩٦٨) ؛ سفِن سيلدنغر (١٩٢٨ ـ ١٩٩٨).

في ضاحية ويمبلدون بمدينة لندن مستشفى لجراحة الأعصاب يُدعى مستشفى أتكنسون مورلي Atkinson Morley's Hospital، كان لي شرف العمل فيه خمسَ سنوات. وكان رئيس قسم الأشعة من جنوب أفريقيا، ويدعى جيمس أمبروز James Ambrose؛ وهو من أنبل منْ عرفت. وكان يبحث مع مهندس بريطاني اسمه غودفري هاونسفيلد Godfrey Hounsfield، يعمل في **شركة MEI** المتخصصة في صناعة الموسيقى بمدينة هيز في بريطانيا، في مبدأ جديد للتصوير الطبي يعتمد على أعداد كبيرة من صور الأشعة (الثنائية الأبعاد)، مأخوذة حول محور لتشكيل صورة ثلاثية الأبعاد لجسم الإنسان من الداخل. ونجحا في ذلك عام ١٩٧٢. وصُوِّر أول مريض في العالم بهذه الطريقة في مستشفى أتكنسون مورلي في العام ذاته. سميت الطريقة الجديدة EMI SCAN، ولاحقًا CAT SCAN؛ وبعد ذلك، اختُصر الاسم إلى CT. وبالعربية، سميت تلك الطريقة التصوير الطبقي. وقد استعملت الشركة الأرباح، التي حصلت عليها من بيع أسطوانات فرقة البيتلز (الخنافس) Beatles الذائعة الصيت، في تمويل البحث في هذا الموضوع.

وكان هنالك طبيب أمريكيّ يجري دراسات بالطريقة نفسها في جامعة تافتس بالولايات المتحدة، هو ألان كورماك Alan Cormack. وقد منحت لهاونسفيلد وكورماك جائزة نوبل في الطب عام ١٩٧٩؛ واستثني أمبروز من الجائزة!

وفي أيّامنا هذه، لا يخلو مستشفى حديثٌ في العالم من جهاز أو جهازين للتصوير الطبقي. فقد أحدث اكتشاف التصوير الطبقي ثورةً هائلة في التشخيص، وساعد في إنقاذ مئات الآلاف من المرضى.





مخترعا جهاز التصوير الطبقي: سير غودفري هاونسفيلد (١٩١٩ ـ ٢٠٠٤)، وألان كورماك (١٩٢٤ ـ ١٩٩٨). حصلا على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٧٩.

طوّر پول لوتربير Paul Lauterbur، من جامعة إلينوي في إيربانا ـ شامپين بالولايات المتحدة الأمريكية، وسير پيتر مانسفيلد Sir Peter Mansfield، من جامعة نوتنغهام في بريطانيا، مبدأ استخدام مجال مغناطيسي ونبضات من طاقة موجات الراديو، لإنتاج صور لأعضاء الجسم من الداخل، والحصول على معلومات لا يمكن الحصول عليها عن طريق الأشعة السينية، أو الموجات فوق الصوتية، أو حتى باستخدام التصوير الطبقي. ونتج عن بحوث هذين العالمين تطوير طريقة التصوير بالرنين المغناطيسي MRI، التي يشيع استخدامها اليوم في تشخيص الأمراض. والجدير ذكره أنّ هذا المبدأ كان معروفًا منذ عام ١٩٥٢، واستخدم في كثير من الدراسات الجيولوجية الخاصة بالصخور. وكان يعرف بالرنين النووي المغناطيسيّ NMR. واكتشفه في حينه العالمان

الفيزيائيان فيليكس بلوخ وإدوارد بيرسل، وحصلا مقابل ذلك على جائزة نوبل عام ١٩٥٢ . تُقاس «قوة» الأجهزة التي تعمل بهذا المبدأ بوحدة تسلا tesla؛ وحاليًا ثمّة أجهزة من هذا النوع بقوة ٣ تسلا . وتوجد هذه الأجهزة في معظم مستشفيات العالم، ولا غنى لأي طبيب عنها . وقد حصل العالمان لوتربير ومانسفيلد على جائزة نوبل في الطب عام ٢٠٠٣ . وبعد منح الجائزة، احتج العالم پول داماديان Paul Damadian، من جامعة أبردين في اسكتلندا/ بريطانيا، بأنه صاحب الفكرة، وأنه صنع جهازًا مماثلاً في وقت سابق، وصوّر أول مريض بهذه الطريقة في ٣/ ٧/ ١٩٧٧ . إلا أن مؤسسة نوبل في كارولينسكا بالسويد لم تُعر احتجاجاته أي اهتمام. ومن الطريف أن الجهاز الذي استخدمه داماديان محفوظ بواشنطن العاصمة في **مُتحف سمثسونيان Smithsonian Museum**.



مخترعا جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي: سير پيتر مانسفيلد (١٩٣٣ –)، وپول لوتربير (١٩٢٩ ـ ٢٠٠٧) . مُنحا جائزة نوبل عام ٢٠٠٣ .

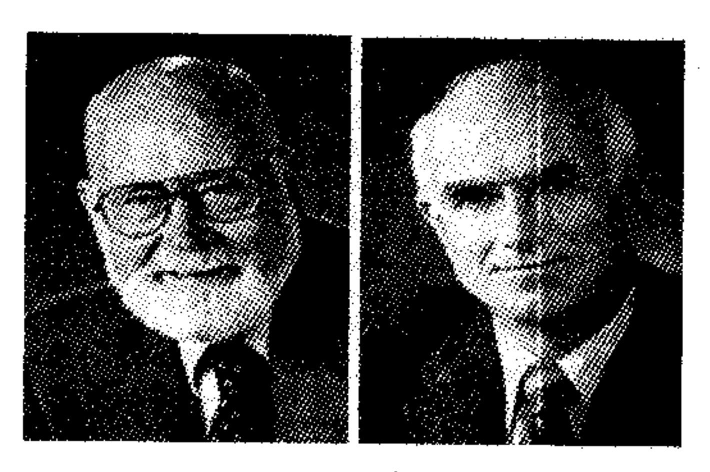
في عام ١٩٩٨، وافقت إدارة الغذاء والدواء الأمريكيّة على البدء باستخدام جهاز للتشخيص، يعتمد مبدأ دراسة وظائف أعضاء الجسم عن طريق حقن نظائر مشعة قصيرة العمر؛ بعد جعلها تتحدُ مع مادة قابلة للتمثيل الغذائي في الجسم (أحد مركبات الغلوكوز المسمى فلورو دي أوكسي غلوكوز FDG)، وتحديد مدى استخدام العضو

المراد فحصهُ لهذه المادة عن طريق حساب كمية البوزترونات المنبعثة من تحلل النظير المشع. وسُمّي الجهازُ جهازَ البوزترونات المنبعثة PET. وفي عام ٢٠٠٠، دُمج هذا الجهاز مع جهاز التصوير الطبقي لإنتاج جهاز جديد، عَدّتهُ مجلة **تايم** *Time* الأمريكيّة أحد أهم ثلاثة اختراعات في عام ٢٠٠٠. وسُمّي الجهازُ جهازَ البوزترونات المنبعثة والتصوير الطبقي CT- PET. و يعزى فضل البحث في المبدأ الذي يقوم عليه هذا الجهاز للعالمين ديفيد كول David Kuhl وروي إدواردز Roy Edwards عام ١٩٥٢ في جامعة پنسلفانيا. لكن الأجهزة طُوّرت لتُصبح بصورتها الحالية في جامعة واشنطن، على أيدي العالمين ميشيل تيرپو غاسيان Michel Terpogassian وميشيل فيلپْس Michel Phelps، في نهايات القرن العشرين.

نقل الأعضاء والأنسجة وزراعتها

عُرِف هذا المبدأ في بدايات القرن العشرين؛ حين قام طبيب العيون إدوارد زيرم بنقل قرنية من شخص مُتوفّى بنجاح طفيف. وحدث تطوُّر كبير في هذا المضمار بعد الحرب العالمية الثانية نتيجة للتقدم في صناعة الخيوط الجراحية الدقيقة. وأصبحت عمليات نقل الأعضاء تُجرى روتينيًا في جميع أنحاء العالم.

أجريت أول عملية ناجحة لنقل كُلية من متبرّع حيّ إلى آخَر عام ١٩٥٤ في مستشفى بيتر بنت بريغام، المعروف الآن بمستشفى بريغام Brigham، في مدينة بوسطن الأمريكيّة. وأجرى العملية الدكتور جوزيف مَري Joseph Murray، الذي نقل الكُلْيةَ من رونالد هيريك إلى أخيه ريتشارد، الذي عاش ٨ سنوات بعد ذلك. نال الدكتور مري جائزة نوبل في الطب عام ١٩٩٠، مع الدكتور دونال ثوماس Donnall Thomas من مدينة نيويورك الأمريكيّة، الذي قام بأول عملية ناجحة لنقل النخاع العظمي إلى مريض بابيضاض الدم، المعروف باللوكيميا، من أحد أقربائه.



أول من أجرى عملية ناجحة لنقل كُلية من متبرع حيّ، جوزيف مري (١٩١٩ -)، ودونال ثوماس (١٩٢٠ -). مُنحا جائزة نوبل عام ١٩٩٠.

لم يكُن من الممكن إجراء مثل هذه العمليات من دون وجود دواء يمنع رفض الجسم المستقبل للمادة العضوية المنقولة أو المزروعة . وكان لاكتشاف الدواء المُسمى إميوران Imuran الفضل الأكبر في التغلُّب على هذه المشكلة . اكْتُشف هذا الدواء عام ١٩٦٢ بفضل غيرترود إليون Gertrude Elion، وجورج هتْشنغز George Hitchings، وسير جيمس بلاك Sir James Black، الّذين نالوا جائزة نوبل على هذا الإنجاز عام ١٩٨٨ .



مطورو دواء إميوران : غيرترود إليون (١٩١٨ ــ ١٩٩٩)، وجورج هِتْشنغز (١٩٢٠ ــ ١٩٩٨)، وسير جيمس بلاك (١٩٢٤ ــ   ).

في عام ١٩٥٢ ، نقل الدكتور هامبرغر في الولايات المتحدة كُلْيَة فتاة متوفّاة إلى فتاة أخرى عاشت ٢٢ يومًا بعد عملية النقل . وانتظر العالم حتى عام ١٩٦٢ ليتحقّق بنجاح نقل كلية، مصحوبٌ بديمومة عمل الكُلية المنقولة . وأجريت العملية في مستشفى بيتر بنت بريغام في مدينة بوسطن الأمريكيّة .

أجرى الدكتور ثوماس ستارزل، من جامعة كولورادو في مدينة دينفر الأمريكيّة عام ١٩٦٧ ، أوّل عملية ناجحة لزراعة الكبد . وعمل الكبدُ المنقولُ بفعالية مدّة ١٣ شهرًا .

في ليلة ٣/ ١٢/ ١٩٦٧ ، لم يكن ثلاثة أشخاص في جنوب أفريقيا يعلمون أنّهم سيصبحون مشاهير بين ليلة وضُحاها . في ذلك اليوم، قام الطبيب جرّاح القلب

كريستيان بارنارد Christiaan Barnard ، مع فريق من ثلاثين شخصًا ، بزراعة قلب فتاة تُدعى دينيس دارفال Denise Darvall ، تُوُفيت في اليوم السابق بحادث سير في مدينة كيپ تاون ، في جسم المريض لويس واشكانسكي Louis Washkanski ، البقّال الذي كان الأطباء قد قالوا إنّه لن يعمر طويلاً نتيجة علّة في قلبه . استغرقت العملية ٩ ساعات ، ونجحت من الناحية التقنية . لكن المريض تُوفي بعد ١٨ يومًا بفعل التهاب رئوي نجم عن أدوية منع رفض الأنسجة المنقولة ، الضرورية في عمليات زراعة الأعضاء .

لم يَعْتَرِ اليأسُ الدكتور بارنارد لهذه الوفاة ؛ وواصل عمليّاته مُحرزًا نتائج أفضل . فبقي المريض فيليپ بلايبرغ Philip Bliaberg حيًا مدة ١٨ شهرًا بعد نقل قلب إليه . وعاشت السيدة دوروثي فيشر Dorothy Fisher ٢٤ سنة بعد إجراء بارنارد عملية نقل قلب لها عام ١٩٦٩ ؛ وهي أطول من عاش من المرضى الذين أجريت لهم مثل تلك العمليات . وكان السبب في ذلك اكتشاف الدواء الذي يمنعُ رفض الأعضاء ، وهو دواءُ سايكلوسپورين Cyclosporin ، الذي اكتُشف عام ١٩٧٢ ، ولم يزل مستخدمًا حتى الآن . حاول الدكتور بارنارد زرع قلوب حيوانات في آدميين ؛ لكنه فشل . وسبّب له ذلك نقدًا شديدًا من الأوساط العلمية والدينية على حدٍّ سواء .



كريستيان بارنارد (١٩٢٢ ـ ٢٠٠١)



لويس واشكانسكي (١٩١٢ ـ ١٩٦٧)

ومن إنجازات الدكتور بارنارد الأخرى زرعُهُ أوّل كُليَة في جنوب أفريقيا عام

١٩٥٩ . لكن شَرَف زراعة الكُليةِ الأولى في العالم يعود للولايات المتحدة الأمريكيّة عام ١٩٥٣ .

واليوم تُجرى عمليات نقل الأعضاء وزراعتها بمعدل ٨٠ عملية لكل مليون من السكان في الولايات المتحدة الأمريكيّة؛ وفيها يُجرى مثْلا عدد العمليات التي تُجرى في غيرها من بلدان العالم مجتمعةً (عام ٢٠٠٠). وأغلبَ هذه العمليات للكُلى، تليها عمليات الكبد، ثم عملياتُ القلب. وتبلغ كلفة العملية الواحدة من هذه العمليات ١٠٠,٠٠٠ دولار، و ٢٥٠,٠٠٠ دولار، و ٨٥٠,٠٠٠ دولار، على التوالي، في الولايات المتحدة الأمريكيّة؛ لكنها أرخص من ذلك بكثير في مناطق أخرى من العالم. ويناهز عدد الأشخاص الذين ينتظرون عمليات زراعة الأعضاء في العالم ١٠ ملايين شخص.

وفي الأردن، أجريت أول عملية لزراعة كُلية عام ١٩٧٢ في المستشفى العسكري بماركا. وأجريت أول عملية زراعة قلب عام ١٩٨٥ في مدينة الحسين الطبية. أجراهما الدكتور داود حنانيا. وكان الأردن سادس دولة في العالم تُجرى فيها عملية لزراعة قلب. وبعد إجراء عشر عمليات من هذا النوع، توقّف البرنامج لسبب غير معروف.

أجريت أول زراعة ناجحة للنخاع العظمي في مريض غير مُصاب بالسرطان عام ١٩٦٨، على يَدَي الدكتور روبرت غود. وكانت أول زراعة ناجحة لنخاع عظمي من متبرّع غير ذي صلة قرابة بالمريض عام ١٩٧٣، في مستشفى سلون كيتيرنغ بمدينة نيويورك.

أمّا أول قلب صناعي مؤقّت، فقد زرعه الدكتور دنتون كولي عام ١٩٦٩ في تكساس بالولايات المتحدة في جسم مريض، انتظاراً لزراعة قلب دائم.

وأجريت أول زراعة ناجحة لقلب ورئة في جامعة مينيسوتا عام ١٩٨١، على يدي الدكتور بروس ريتز للسيدة ماري جولك، التي عاشت ٥ سنوات بعد إجراء تلك العملية.

في عام ١٩٨٢، زُرِع أول قلب صناعي [جارفيك ٧ (Jarvik 7)] في قلب المريض بارني كلارك Barney Clark، الذي عاش ١١٢ يومًا بعد العملية وجسمه متصلٌ بجهازٍ خارجي يشغّل القلب الصناعي.

وكانت أول عملية لزراعة رئة واحدة في مستشفى تورنتو العامّ في كندا عام ١٩٨٣، وأجراها الدكتور جويل كوپر Joel Cooper. أما المريض توم هال Tom Hal، الذي أجريت له العملية، فعاش بعدها ٦ سنوات، وتُوفي لأسباب أخرى. وزرع الطبيب نفسه عام ١٩٨٦ رئتين اثنتيْن لمريض عاش حتّى عام ٢٠٠١.

وأجريت أول زراعة ناجحة لبنكرياس مأخوذ من أحد أقرباء المريض في جامعة مينياپوليس على يدَي الدكتور ديڤيد ساذرلاند عام ١٩٧٩.

وفي عام ١٩٨٩، أجريت أوّل عملية ناجحة لزراعة كَبد من متبرّع حيّ تربطهُ بالمريض صلة قرابة على يَدي الطبيب كريستوفر برولش Christopher Brolich في جامعة شيكاغو. فنَقل جُزءًا من كَبد السيدة تيري سميث Terry Smith، وزَرَعَهُ في جسد طفلتها أليسا Alessa البالغةَ مَن العمر ٢١ شهراً. ونجحت العملية؛ ولا تزال الوالدة والطفلةُ حيتين تُرزقان إلى اليوم.

في عام ١٩٩٨، أُجريت أول زراعة ناجحة لحنجرة كاملة في مستشفى عيادة كليڤلاند الأمريكيّة للمريض تيموثي هيدلر Timothy Heidler، الذي تَلفَت حنجرتُهُ قبل ٤٠ عامًا إثرَ حادث سير. أجرى العملية الطبيب مارشال ستورم Marshall Storm؛ وتمكن المريض من النطق بعد هذه المدة الطويلة.

وأُجريت أول عملية ناجحة لزراعة خلايا جذعية لمريض مُصاب بفقر الدم المنجليّ Sickle Cell Anaemia عام ١٩٩٨ في مستشفى إيغليستون Egleston للأَطفال بجامعة إيموري Emory University في أتلانتا. وقد استمع مجلس الشيوخ الأمريكيُّ لشهادة المريض كيون پن Keon Penn البالغ من العمر ١٢ عامًا في حَزيران/ يونيو، من عام ٢٠٠٣ في إطار الجدل الدائر حول قضية زراعة الخلايا الجذعية.

وفي عام ٢٠٠٠، أجرت الطبيبة وفاء الفقيه، العاملة في مستشفى الملك فهد في المملكة العربية السعودية، أول زراعة لرحم نُقل من متبرعة عمرها ٤٦ سنة إلى مُتلقّية عُمرها ٢٦ سنة. وأنتج الرحم المزروع الطمث مُدة شهرين، قبل أن يفشل في الشهرَ الثالث ويُنزع من مكانه.

الغُدَد الصُّمّ والتغذية والتّمثيل الغذائيّ

توصَّل العلماءُ في بدايات القرن العشرين إلى أنّ الجسم بحاجة إلى مركّبات معيّنة لدوام صحته، ولمنع بعض الأمراض من الفتك به. ففي عام ١٩٠٦، افترض الكيميائيُّ البريطاني فريدريك هوپكنز Frederick Hopkins وجود «عوامل غذائية مساعدة» ضرورية لعمل الجسم، وأنّ نقصها يؤدي إلى الإصابة بأمراض، كالكُساح والإسقربوط. وفي الوقت نفسه، كان العالمُ الهولنديُّ كريستيان إيكمان Christiaan Eijkman قد وجد أنّ نقص مادة ضرورية موجودة في قشر الأرُز هو سَبَبُ مرض البَري بَري. وحَصَلَ هذان العالمان على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٢٩. وانتظر العالم حتى عام ١٩١٢ حين أدخل الكيميائي الأمريكيّ البولندي الأصل كاسيمير فنك Casimir Funk اسم ڤيتامين Vitamin لأول مرة، لوصف موادّ من هذا القبيل أدّى استعمالها إلى علاج أمراض شائعة، مثل: مرض البَري بَري، والإسقربوط، وغيرهما؛ ما أدى إلى اختفاء هذه الأمراض من معظم الدول المتقدمة مع تطور التغذية وتحسُّن المستوى الغذائي. واكتشف العالمُ إدوارد ميلانبي Edward Mellanby عام ١٩٢١ ڤيتامين «د»، الذي يسبب نقصُهُ مرض الكُساح. وبذلك ساعد في القضاء على مرض أدّى إلى تشويه الآلاف من الأطفال، وحِرمانهم من نعمة الحركة الطبيعية.



مكتشفو الڤيتامينات: فريدريك هوپكنز (١٨٦١ - ١٩٤٧)؛ كريستيان إيكمان (١٨٥٨ - ١٩٣٠)؛ كاسيمير فنك (١٨٨٤ - ١٩٦٧). حصل الأوّلان على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٢٩.

إلا أن ثمّة أمراضًا غذائية من نمط آخر ظهرت مع نهاية القرن ونتجت عن الإفراط في تناول الطعام وعدم توازُن التغذية؛ وأعني هنا السمنة الزائدة وما يصاحبها من أمراض مزمنة، كأمراض القلب والسُّكّري والسكتات الدماغية.

كان العالمُ البريطاني المخضرمُ إرنست ستارلنغ Ernest Starling قد أدخل استخدام التعبير الجديد «هُرمون» Hormone في محاضراته التي ألقاها في كُليّة الأطباء الملكية البريطانية في ٢٠و٢٢و٢٧و٢٩ من شهر حزيران/ يونيو عام ١٩٠٥، ليصف مواد تفرزها الغُدَد الصم لتنظيم العمليات الحيوية داخل الجسم. وكان هو وزميله العالمُ البريطاني ويليام بيليس William Bayless قد فَصَلا أول هُرمون، هو السكريتين Secretin. ومنذ ذلك التاريخ، توالت اكتشافاتُ هُرمونات شكلت أساسًا لما سُمي العلاج البديل Replacement therapy لنقص إفراز هُرمونات محددة في الجسم، نَتَجَت عنه أمراضٌ كان علاجُها في السابق مستعصيًا.



إرنست ستارلنغ (١٨٦٦ ـ ١٩٢٧) — وليام بيليس (١٨٦٠ ـ ١٩٢٤)

في عام ١٩٢١، توصَّل العلماء الكنديون العاملون في جامعة تورونتو: فريدريك بانتنغ Frederick Banting، وتشارلز بيست Charles Best، وجون مكلويد John Mcleod، إلى اكتشاف هُرمون الإنسولين Insulin؛ وهو الاكتشاف الذي كان له أن يُحدِث ثورةً لاحقةً في علاج مرض السكري، الذي كان يعاني منه آلاف المرضى،

ويؤدي عن طريق مُضاعفاته إلى وفاة الكثيرين. ونتيجة لهذا الاكتشاف، مُنحوا جائزة نوبل عام ١٩٢٣. وكان الإنسولين أول هُرمون بشريّ يُنتَج على نطاق تجاري.



مكتشفو الإنسولين: فريدريك بانتنغ (١٨٩١ - ١٩٤١)؛ تشارلز بيست (١٨٩٩ - ١٩٧٨)؛ جون ماكلويد (١٨٧٦ - ١٩٣٥). حصلوا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٢٣.

استعمل الأطباء الإنسولين المستخرج من الحيوانات لعلاج مرض السكري حتّى عام ١٩٨١؛ حين أصبح بالإمكان الحصول على الإنسولين البَشَريّ بطرق كيميائية حيويّة.

كان العالم آرثر بيدل Arthur Beidl قد توصّل في عام ١٩١٠ إلى أنّ قشرةَ الغُدة جار الكُلويّة ضرورية لحياة الإنسان. ولم يتمكّن العلماءُ من اكتشاف سبب هذه الأهمية إلاّ في عام ١٩٤٩؛ حين حدثت ثورة أخرى في الطّب باكتشاف هُرمون الكورتيزون Cortisone، وهو هُرمون تفرزُه هذه الغُدة. وكان لاكتشاف هذا الهُرمون دورٌ رئيسي في علاج الالتهابات، والأمراض المزمنة للمفاصل، وكثيرٍ من أمراض الأعصاب. فكم أنقذ من مَرضى الإصابات والحساسية المفرطة!

لقد نهض العالم الأمريكيّ إدوارد كندال Edward Kendall، الذي كان يعمل في مؤسسة مايو الأمَريكية، وتاديوس رايخستين Tadeus Reichstein، من سويسرا،

والعالم الأمريكيّ فيليپ هنش Philip Hench من مؤسسة مايو، بالدور الرئيسيّ في هذا الاكتشاف. وكوفئ هؤلاء العلماء بجائزة نوبل عام ١٩٥٠. وكان كندال قد اكتشف في عام ١٩١٥ هُرمون الغُدة الدرقية المسمى الثيروكسين Thyroxin؛ وهو من الهُرمونات الضرورية للنمو والتمثيل الغذائي، ويؤدي نقصه لدى الأطفال إلى التخلف العقلي.



مكتشفو الكورتيزون: فيليپ هِنش (١٨٩٦ ـ ١٩٦٥)؛ تاديوس رايخستين (١٨٩٧ ـ ١٩٩٦)؛ إدوارد كندال (١٨٨٦ ـ ١٩٧٢). حصلوا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٥٠.

لم تُقتصر إنجازات رايخستين على ذلك؛ وإنما قام أيضًا عام ١٩٣٣، بمشاركة سير نورمان هوارث Norman Howarth في بيرمنغهام، بتصنيع ڤيتامين «ج»؛ وهو الڤيتامين الذي يمنع مرض الإسقربوط والنّزف.

قبل عام ١٩٥٣، كانت كثيرات من النساء يَمُتْنَ من النزف الذي يعقب الولادة، بسبب عدم انقباض عضلات الرحم بعد انفصال المشيمة. واستمرت الحالُ كذلك إلى أن تمكّن العالم ڤينسنت دو ڤيغنو Vincent du Vigneaud في جامعة كورنل Cornell الأمريكيّة، من خلال عمله على الپپتيدات، من فصل هُرمون الأوكسيتوسين Oxytocin؛ وهو المادة الفعالة في انقباض الرحم. وكان لهذا الاكتشاف وقع كبير؛ فقد أدّى استخدامه بعد ذلك في عمليات الولادة إلى إنقاذ حياة الآلاف من الأمهات.

وكرّمته الجمعية الأكاديمية السويدية بمنحه جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٥٥ . ولم تتوقّف إنجازات هذا العالم عند هذا الحد؛ وإنما اكتشف كذلك هُرمون الفازوپريسين Vasopressin . وهو من هُرمونات الفصّ الخلفي للغُدة النخامية، ومسؤولٌ مباشرةً عن التحكم في محتوى الجسم من الماء؛ وهو المادة التي تُعطى للمرضى الذين يشكون من مرض السكّري الكاذب.



مكتشف الأوكسيتوسين، فينسنت دو فيغنو (١٩٠١ - ١٩٧٨).
حصل على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٥٥.

تمكّن العالم الأمريكيّ فرانك كولتون Frank Colton، الذي كان يعمل في مختبرات شَركة **سيرل Searle** الأمريكيّة، من تصنيع هُرمون البروجسترون Progesterone عام ١٩٥٢، واستخدمه مادة فعالة لمنع الحمل. وقد موّلت السيدة مارغريت سانغر Margaret Sanger عام ١٩٥٢، وهي تقترب من الخامسة والسبعين من عمرها في ذلك الوقت ومن النشطاء في حركة حقوق المرأة وتنظيم الأسرة، هذا البحث بمبلغ ١٥٠ ألف دولار. كما تمكن العالم كارل جيراسي Carl Djerassi عام ١٩٥٤ من تصنيع أول حبة منع حمل Pill تُعطى عن طريق الفم من مادة

البروجستين Progestin ؛ مُستنداً إلى بحوث غريغوري پنكس Gregory Pincus، عالم الأحياء الأمريكيّ. وسُمح للناس باستخدامها عام ١٩٦٠. ويُعزى لكولتون أيضًا تصنيع مادة الستيرويدات البانية للجسم Anabolic steroids، التي استخدمت بصورة غير قانونية لأوّل مرة في الألعاب الأولمبية عام ١٩٤٨.



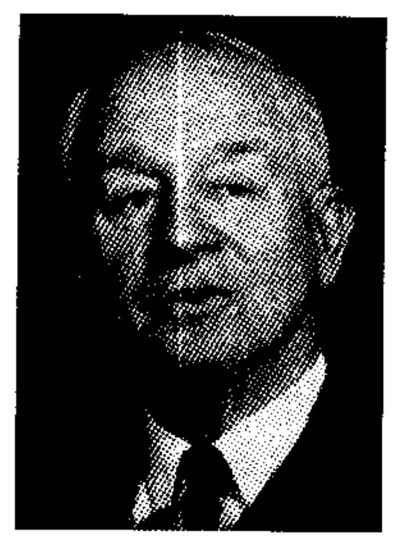
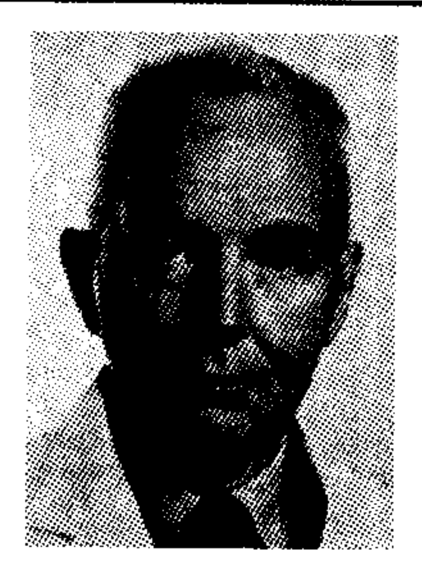
مصنعو حبة منع الحمل: فرانك كولتون (١٩٢٣ ـ ٢٠٠٣)؛ غريغوري پنكس (١٩٠٣ ـ ١٩٦٧)؛ كارل جيراسي (١٨٨٦ ـ ١٩٧٢).

واستطاع العالم الأمريكيّ الجنسية، الصيني المولد، تشو هاو لي Choh Hao Li عام ١٩٦٦ اكتشاف أنّ هُرمون النمو، وهو أحد هُرمونات الغدة النخامية والمسؤول الرئيسيّ عن نمو الخلايا في الجسم، يتكوّن من سلسلة من ١٩١ من الحموض الأمينية. وتمكّن من تصنيع الهُرمون مخبريًا؛ وكان حتى ذلك التاريخ أكبر جُزيء پروتيني مُصنّع. وقد تمكّنت شركات الأدوية من تصنيعه على نطاق تجاري، ووُوفقَ على استخدامه من وكالة الغذاء والدّواء الأمريكيّة في بدايات القرن الحادي والعشرين.



تشو هاو لي (١٩١٣ ـ ١٩٨٧)

منحت مؤسسة نوبل عام ١٩٦٦ العالمين بيتون راوس Peyton Rous وتشارلز هَغنز Charles Huggins جائزة نوبل في الطب، لاكتشافهما العَلاقة بين الهُرمونات ومرض السرطان؛ خاصة سرطان غُدة البروستاتا. وكان عملهما هذا فاتحة الطريق لاكتشاف علاقة مرض سرطان الثدي بالهُرمونات؛ ما أدّى إلى تطوير علاج هُرموني لكثير من أنواع السرطانات، التي تشكّل الهُرمونات إحدى الوسائل الناجعة لعلاجها. ويُعزى لراوس كذلك الفضل في اكتشاف العلاقة بين السرطان والفيروسات.

مكتشفا العلاقة بين الهرمونات والسرطان: پيتون راوس (١٨٧٩ ـ ١٩٧٠)، وتشارلز هَغنز (١٩٠١ ـ ١٩٩٧). مُنحا جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٦٦.

كان التمثيلُ الغذائي وكيفية قيام الجسم بوظائفه من الأمور المحيّرة. وكان التمثيلُ الغذائي للحموض الدهنية ومركّب الكوليسترول من القضايا التي شغلت بال العلماء؛ إلى أن اكتشف العالمان كونراد بلوخ Konrad Bloch وفيودور لينن Feodor Lynen، في أوائل الستينيات، كيفية قيام الجسم بالتمثيل الغذائي لهذه المواد. وكان للمفاهيم التي بيّنها هذان العالمان كبير الأثر في الاكتشافات اللاحقة المتعلقة بالسمنة وتصلب الشرايين. وقد قدّرت مؤسسة جائزة نوبل إنجازات هذين العالمين، ومنحتهما الجائزة عام ١٩٦٤.



مكتشفا التمثيل الغذائي للحموض الدهنية والكوليسترول: كونراد بلوخ (١٩١٢ ـ ٢٠٠٠)، وفيودور لينن (١٩١١ ـ ١٩٧٩) . حصلا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٦٤.

استمر البحث في التمثيل الغذائي للكوليسترول حتى عام ١٩٨٥ ؛ حين تمكّن العالمان مايكل براون Michael Brown وجوزيف غولدستين Joseph Goldstein من التّوصل إلى مفهومنا الحالي عن كيفية إنتاج الجسم لهذا المركّب وتعامله معه . ونال العالمان جائزة نوبل عام ١٩٨٥ .



مُطورا التمثيل الغذائي للكوليسترول: مايكل براون (١٩٤١ ـ) ، وجوزيف غولدستين (١٩٤٠ ـ).
حصلا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٨٥.

الحمل والإنجاب وصحة العائلة

عانت المجتمعات على مر العصور - خاصة المرأة - من مشكلات اجتماعية لها علاقة وثيقة بقضايا الحمل والإنجاب. فمن ناحية، كانت ثمّة حاجة إلى إنجاب عدد كبير من الأبناء للمساعدة في كسب لقمة العيش أو الدفاع عن العائلة؛ ومن ناحية أخرى، كانت هنالك أمراضٌ تفتك بهؤلاء الأبناء قبل بلوغهم الخامسة من العمر. وكانت العادات تُحتِّم على المرأة أن تكون ولوداً؛ فحدث في كثير من الحالات أن فقدت مكانتها لأنها عاقر.

لقد أدى تحسُّن المستوى المعيشي للأُسر، وتوافر المياه الصالحة للشرب، والقضاء على الكثير من الأمراض، إلى تدني نسب الوفيات بين الأطفال؛ في حين أدّى تحسُّن الرعاية الصحية للأمهات إلى انخفاض نسب الوفيات في أثناء الولادة وما بعدها. ويقاس مدى تقدم الرعاية الصحية في أي بلد حاليّاً بنسب وفيات الأطفال قبل نهاية السنة الأولى من العمر، وبنسب وفيات الأمهات حول فترة الولادة.

كانت أمراض الحصبة Measles (٧٤٥,٠٠٠ وفاة عام ٢٠٠٢، حسب منظمة الصحة العالمية)، والجدري Smallpox، والحصبة الألمانيّة Rubella، وشلل الأطفال Poliomyelitis - وما زالت - تفتك بآلاف الأطفال كل عام؛ مشتركةً في ذلك مع الأمراض النّاتجة عن الفقر، وسوء التغذية، والأوبئة الشائعة (انظر فصل «الأمراض المعدية والالتهابات»). فإضافة إلى مليون وفاة تتسبب بها الأمراض التي يمكن منعُها عن طريق التطعيم، تؤدي الحصبة إلى إعاقات عقلية وفقد السّمع؛ في حين يؤدي الجدري إلى العمى. كما تؤدي الحصبة الألمانية إلى كثير من العيوب الخلقية في القلب والدماغ، إن أصيبت بها المرأةُ الحامل. وقد أعلنت منظّمة الصحة العالمية عام ١٩٧٧ أنّها تمكنت من القضاء نهائيًا على مرض الجدري، بعد أن فتك بما يقرُبُ من ٣٠٠ مليون شخص في القرن العشرين وحده. ولم يَبقَ من مطعوم هذا المرض إلا كميات خزنت في ثلاثٍ من مناطق العالم هي: ١) مدينة بيرمنغهام في بريطانيا؛ لكنْ دُمّر المخزون

هناك عام ١٩٨٠، بعد أن أدى تسرُّب منه إلى وفاة المصوّرة جانيت باركر Janet Parker يوم ١١/٨/١٩٧٨، وهي آخر من تُوفي بهذا المرض. ٢) مركز مكافحة الأمراض والأوبئة في مدينة أتلانتا بولاية جورجيا الأمريكيّة. ٣) مركز الدولة لبحوث الڤيروسات في مدينة كولستوڤو Kolstovo الروسية.

لعله من المناسب هنا أن نورد بعض المكتشفات المفصلية في هذا الموضوع المهمّ، وأن نذكُرَ العلماء الذين كانت لهم أدوار محورية فيها. فعلى سبيل المثال، نشر العالمُ الأستراليُّ سير نورمان غريغ Sir Norman Gregg عام ١٩٤١ مقالاً عن عَلاقة مرض الحصبة الألمانية بالحمل ونتائجه على الأجنّة؛ فلفت أنظار العالَم إلى تلك المخاطر. ومن ثمّ طوّر العالم هاري ماير Harry Meyer والعالم پول پاركمان Paul Parkman أوّل مطعوم للحصبة الألمانية عام ١٩٦٦. كما طوّر عالمُ الأحياء الأمريكيُّ الدكتور جوناس سالك عام ١٩٥٢ أول مطعوم لشلل الأطفال. ونُفّذت أول حملة للتطعيم بهذا المطعوم في مدرسة الترسانة الابتدائية بمدينة پتسبرغ الأمريكيّة عام ١٩٥٥.

أمّا العالم الأمريكيُّ ألبرت سابين، فطوّر أول مطعوم حيّ يؤخذ بالفم لشلل الأطفال عامَ ١٩٥٧. وقامت منظمة الصحة العالمية بتجربته على نطاق واسع في العام نفسه في روسيا وهولندا والمكسيك وتشيلي والسويد واليابان.

تمكن العلماءُ عام ١٩٥٨ من البدء باستخدام الموجات فوق الصوتية لتشخيص أمراض الأجنة داخل الأرحام. وجرى في وقت لاحق تدبير هذه الأمراض لتجنب ولادات لأطفال مصابين بإعاقات أو أمراض يصعُبُ علاجها، أو علاجُ مضاعفاتها لاحقًا. ويُعزى الفضل في ذلك للطبيب الاسكتلندي إيان دونالد Ian Donald.





مطور تشخيص الأجنة ، وواضعة مقياس أبغار لصحة الطفل ، ومكتشف مطعوم الحصبة الألمانية: ايان دونالد (١٩١٠ ـ ١٩٨٧) ؛ فيرجينيا ابغار (١٨٩١ ـ ١٩٧٤) ؛ بول باركمان (١٩٣٢ ـ).

وطوّرت العالمة الأمريكيّة ڤيرجينيا أبغار Virginia Apgar عام ١٩٥٢ مقياسًا لمدى صحة الطفل مباشرةً بعد الولادة . واستُعمل المقياسُ منذ ذلك التاريخ بصورةٍ روتينية تحت اسم مقياس أبغار Apgar score .

كانت الولادةُ عمليةً مؤلمة في كثير من الأحيان ؛ ولم يتمكن الأطباء من تخفيف هذه الأوجاع بالأدوية . وكان استخدام التخدير ممنوعًا في حالات الولادة ، إلاّ عند إجراء العملية القيصرية . وفي صبيحة ٦/ ١/ ١٩٤٢ ، دخلت سيدة حامل مصابة بمرض قلبيّ لإجراء عملية قيصرية في مستشفى البحرية بجزيرة ستاتن في نيويورك . وخشي الأطباء من وفاتها عند تخديرها . فأدخل الدكتور موريس فيشبين Morris Fishbein أنبوبة قسطرة إلى المنطقة المحيطة بالأمّ الجافية Epidural space في المنطقة القطنية ، وأسالَ من خلالها مادة مخدرة ؛ مستخدمًا الطريقة التي كان قد وصفها الأطباءُ روبرت هنغسون Robert Hingson، ووالدو إدواردز Waldo Edwards ، وجيمس ساوثورث James Southworth ، الذين كانوا يعملون في المستشفى نفسه . نجحت التجربة نجاحًا باهرًا ، وأنجبت المرأة من دون مشكلات . وتستعمل هذه الطريقة الآن على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم للولادة من دون ألم .

نتجت عن التقدُّم الطّبي الملموس ، الذي أحرِز في النصف الأول من القرن

العشرين، زيادةٌ مضطردة في عدد السكان، رافقها ارتفاع في مستوى المعيشة؛ ما أدّى إلى التفكير بطرق لتنظيم هذه الزيادة. واستدعى ذلك إنشاء برامج، كان أولّها ذاك الذي وضعتهُ مارغريت سانغر في بروكلين بالولايات المتحدة عام ١٩١٦؛ وهي السيدة نفسها التي موّلت عام ١٩٥٢ تصنيع حبوب منع الحمل (أنظر «الغدد الصُّمّ والتغذية والتمثيل الغذائي»).



مارغريت سانغر (١٨٧٩ ـ ١٩٦٦) ارنست غرافِنبرغ (١٨٨١ ـ ١٩٥٧)

استخدمت حبوب منع الحمل منذ ذلك التاريخ، ورافقها استنباط ما سُمي اللَّولب. ويُعزى الفضل في البدايات المتعلّقة باللولب إلى العالم الألماني إرنست غرافنبرغ Ernest Graafenberg عام ١٩٢٩. أما تطويره، فكان علَى يدَي الدكتور هوارد تاتوم Howard Tatum في الولايات المتحدة، ليصبح بصورته الحالية عام ١٩٦٨.

كانت هنالك مجموعاتٌ من الأسر لم تتمكن من الإنجاب نظرًا لمعيقات طبية كثيرة. وكانت الطريقة المتوافرة هي التبنّي، بكلّ ما يسببه من مُشكلات اجتماعية ونفسية. وفي تلك الأثناء، كان عالمُ الأحياء الصينيُّ مين شوه تشانغ Min Cheuh Chang يعمل في بوسطن بالولايات المتحدة؛ حين تمكّن من إخصاب بُويضات حيوانية خارج الرحم عام ١٩٥٩. لقد كان هذا العمل العلميُّ هو الأساس في ولادة أول طفل خارج الرحم الإنساني (أطفال الأنابيب) عام ١٩٧٨ [ولدت الطفلة لويز براون Louise

Brown في ٢٥/ ٧/ ١٩٧٨ بمدينة أولدام في المملكة المتحدة]، على أيدي الطّبيبين باتريك ستپتو Patrick Steptoe وروبرت إدواردز Robert Edwards . وكان الطفل الثاني دورغا Durga قد ولد في الهند في تشرين الثاني/ نوڤمبر من العام نفسه . أمّا الطفل الثالث المولود بهذه الطريقة، فكان الطفلة الأسترالية كانديس ريد Candice Reed، التي وُلدت عام ١٩٨٠ . لقد شاع استعمال هذه الطريقة بحيث غَدَت الولاداتُ باستخدامها تشكل ما نسبته ١٪ من مُجمل الولادات في الولايات المتحدة .



أول من أخصب بويضة خارج الرحم ، وأول من ابتكر أطفال الأنابيب ، وأول طفل أنابيب: مين شوه تشانغ (١٩٠٨ - ١٩٩١) ؛ پاتريك ستپتو (١٩١٣ - ١٩٨٨) ؛ الطفلة لويز براون (١٩٧٨ -).

ومن الطريف ذكرهُ هُنا أنه بعد قيام العلماء الاسكتلنديين باستنساخ النّعجة دولي Dolly في ٧/ ٣/ ١٩٩٦ بمختبرات معهد روزلن Roslin Institute، اعتقد الجميع أنّ الخُطوة القادمة ستكون استنساخ إنسان . فقامت الدنيا ولم تقعد ضدّ مثل هذا التوجّه، الذي أصدرت دُولٌ كثيرةٌ تشريعات لمنعه .

السّرطان وعلاجه

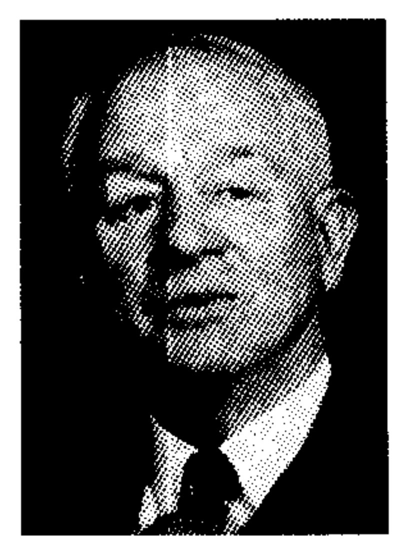
مَعَ أنّ قدماء المصريين وصفوا في بردياتهم أورامًا سرطانيّة من دون تسميتها، فإنّ الفضل في إطلاق الاسم الحالي عليها يرجع إلى أبقراط. لقد ساعد التقدّم في مختلف مجالات الطب في تطوير وسائل التشخيص والعلاج لكثير من الأورام السرطانية. فالتقدّم الذي أحرز في العلوم المخبريّة، وعلم الأشعّة، وعلم النظائر المشعّة، كان ذا أثر فعّال في هذا المجال؛ إضافة إلى التقدم في فنّ الجراحة، واكتشاف مواد تخدير تسمح بإجراء عمليّات طويلة. وكان لإتقان عمليّات نقل الدم أثر عظيم في إمكانية إجراء عمليات معقدة وخطيرة، من دون الخوف من حدوث النَّزْف.

لم يكن من الممكن إحراز أي تقدم في معالجة السرطان من دون فهم أسباب حدوثه. في هذا السياق، اكتشف العالم الأمريكيّ فرانسيس بيتون راوس Francis Peyton Rous، الذي كان يعمل في جامعة جونز هوپكنز، أنّ الڤيروسات قد تسبب السرطان. فتمكّن من إحداث سرطان الساركوما Sarcoma عند حقن حيوانات المعْمل بڤيروسات معينة. وإضافة إلى تسمية هذا السرطان باسمه، كوفئ راوس بمنحه جائزة نوبل عام ١٩٦٦؛ بالاشتراك مع العالم الأمريكيّ في جامعة شيكاغو تشارلز هَغنز Charles Huggins، الذي اكتشف عام ١٩٣٩ أنّ بعض الأورام السرطانية يحتاج إلى هرمونات معينة كي تنمو وتكبر، وذلك من خلال بحثه في سرطان البروستاتا عند الكلاب. وكان لاكتشافه هذا أثر كبير في زيادة فهم كيفية نشوء الورم وتطوره؛ وشكّل لاحقًا واحدًا من أهم الأسلحة الطبية التي تستخدم لعلاج السّرطان.

كما سبّب العلماء في جامعة طوكيو باليابان سرطانًا لأوّل مرّة حين حقنوا جلد أرنب بمادة قار الفحم عام ١٩١٠.

وكان عالم الأحياء ثيودور بوڤيري Theodor Boveri أوّل من حدّد ضرورة وجود منظومة متكاملة من الكروموسومات الصحيحة لتطور مخلوق بصورة متكاملة وطبيعية؛ ومن ثَمّ استنتج عام ١٩١٤ أنّ أسباب الأورام قد تكون كروموسومات

عليلةً. لكنْ، جُوبهَ هذا الافتراض بكثير من السخرية؛ وانتظر العالم حتى النّصف الثاني من القرن العشرين لإثبات صحّته.




مكتشفا العلاقة بين الهرمونات والسرطان من حيث النشوء والعلاج: فرانس پيتون راوس (١٨٧٩ ـ ١٩٧٠)، وتشارلز هَغنز (١٩٠١ ـ ١٩٩٧). حصلا على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٦٦.

أجريتْ أول عملية لاستئصال ورم سرطاني في الرِّئة عام ١٩٣٣ على أيدي الطّبيبيْن إيڤارتز غراهام Evarts Graham (١٨٨٣ ـ ١٩٥٧) وجيكوب سينغر Jacob Singer (١٨٨٢ ـ ١٩٥٤)، العامليْن آنذاك في شيكاغو بالولايات المتّحدة. ويُعزى لغراهام نفسه، بالاشتراك مع الطبيب ورين كول Warren Cole (١٨٩٨ ـ ١٩٩٠)، الفضلُ في استنباط طريقة تصوير الحويصلة المرارية بالصبغة Cholecystography. وهو أحد مؤسّسي البورد الأمريكي في الجراحة. وقد أثبت، بالتعاون مع إرنست ويندر Ernst Wynder عام ١٩٥٣، عَلاقة السرطان بالتدخين. وما يدعو للسخرية أن غراهام ـ الذي كان مُدخنًا شرِهًا ـ تُوفي بسرطان الرّئة عام ١٩٥٧.

كان العالمان الأمريكيّان لويس غودمان Louis Goodman وألفرد غلمان Alfred Gilman في جامعة ييل Yale يبحثان في الغازات والمواد السامّة إبّان الحرب العالمية

الثانية، بناءً على تكليف من الحكومة الأمريكيّة، لتلافي الوَيْلات التي سببتها الغازات السامة في الحرب العالمية الأولى؛ حين توصّلا إلى أنّ بعض مشتقّات الخردل Nitrogen mustard يُمْكنُ أن تشفي بعض أنواع السّرطان الشائعة، مثل سرطان هودجكن Hodgkin's sarcoma وسرطان الدم Leukemia. وقاما بتجربة الدّواء على أول مريض في العالم يُعالجُ بمادة كيميائية في كانون الأول/ ديسمبر من عام ١٩٤٢. وأعطت التّجربة نتائج باهرة. لقد بدأ في ذلك اليوم عهد استعمال العلاج الكيميائيّ في التّعامل مع عدد كبير من أنواع السرطان. ويُعزى إلى هذا النوع من العلاج الفضْلُ في بقاء الكثيرين على قَيْد الحياة. واكتشفت بعد ذلك أنواع أخرى من الموادّ الكيميائيّة التي أصبحت، جنبًا إلى جنب مع العلاج بالأشعّة Radiotherapy، أهمّ دعائم علاج هذا المرض الفتّاك.





مكتشفا العلاج الكيميائيّ:

الفرد غلمان (١٩٣٢ ـ ٢٠٠٧)، ولويس غودمان (١٩١٣ ـ ٢٠٠٧).

ويُعزى إلى غودمان نفسه الفضْل في أنّه أول من استعمل مادة الكيوراري Curare ـ وهي المادة التي استعملها الهنود في جنوب أمريكا لشل طرائدهم وضحاياهم ـ لشل

عضلات مريض في أثناء عملية تخدير . وبدأ بذلك عهدٌ أصبحت فيه هذه المادة عمادَ علم التخدير ، قبل أن تستبدل بها موادّ أكثر سلامة . ومن الطّريف أن غلمان سمّى ابْنًا له ألفرد غودمان غلمان ، تيمنًا باسم زميله . وكبر هذا الابن ليصبح عالمًا متميّزًا ، حصل على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٩٧ .

تمكّن العالمان الأمريكيّان هارولد ڤارموس Harold Varmus ومايكل بيشوپ Michael Bishop عام ١٩٧٦ في جامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة من اكتشاف أول جين سرطاني Oncogene محمول على ڤيروس . وكان هذا الڤيروس هو نفسه الذي قال عنه پيتون راوس إنّه يسبب السّرطان ، والمسمّى باسمه عام ١٩١٠ . وكان لهذا الاكتشاف أثرٌ كبيرٌ في تحديد الجينات المسببة للسرطان ؛ ومن ثم فتح عهْدًا جديدًا في محاولة تعديل هذه الجينات أو إيقاف تأثيرها . وقدّرت الأوساطُ العلمية هذا الاكتشاف بأنْ منحت المؤسسة الملكية السويدية هذين العالمين جائزة نوبل في الطب عام ١٩٨٩ .





صاحبا نظرية الأصل الڤيروسي للسرطان:

مايكل بيشوب (١٩٣٦ -) وهارولد ڤارموس (١٩٣٩ -).

حصلا على جائزة نوبل في الطب عام ١٩٨٩.

كان العالم ستيفن فريند Stephen Friend أوّل من تمكّن من اكتشاف الجينات التي تمنع تكوُّن الأورام Tumor suppressor genes؛ وهي جينات طبيعيّة تقوم على إصلاح أي خلل يحدث في الجينات في الإنسان. وحين يعتري هذه الجينات تشوّه معيّنٌ، فإنّها تتوقف عن القيام بنشاطها الطبيعي في الإصلاح وتسمح بتكوّن الأورام. كان الجينُ الأوّل المكتَشف من هذا النوع هو ذاك المسمّى pRb، والمختص بورم شبكية العين المعروف بورم Retinoblastoma. ومن الأنواع الأخرى جينات BRCA1, BRCA2، الخاصّة بورم سرطان الثّدي والمكتشفة عام ١٩٩٥.

ما زال العالم بعيدًا عن اكتشاف العلاج الشّافي من السرطان. لكنّ البحوث تتواصل ليل نهار، وتُرصد لها الأموال الوفيرة. ويتواصل البحث كذلك في تحديد الجينات المسببة لهذه السرطانات، وتطوير وسائل مخبرية لاكتشاف وجود سرطان من عدمه.

تمكّن العلماء من إيجاد اختبار لفحص خلايا عُنق الرَّحم للتحقُّق من وجود سرطان؛ وهو الاختبار المعروف باسم مسحة پاپ Pap smear، نسبة إلى طبيب علم الأمراض جيورجيوس پاپانيكولاو Georgios Papanikolaou. وقد نُشرت المعلومات العلميّة عن ذلك الاختبار عام ١٩٤٣. وكُرّم هذا العالم الأمريكيّ، اليوناني الأصل، بإصدار طوابع وعُملات تحمل صورته في اليونان وفي الولايات المتحدة.

ومن الممكن في الوقت الحاضر إجراء فحص للدّم لقياس ما يُسمّى مؤشّرات الأورام Tumor markers؛ فلكلّ ورم مؤشّر محدد. وسيأتي الوقت الذي تكون فيه قد اكتُشفت مؤشرات لكلّ الأورام، لمعايرة الفحوص المخبريّة طبقًا لها.







مخترع تجربة مسحة پاپ

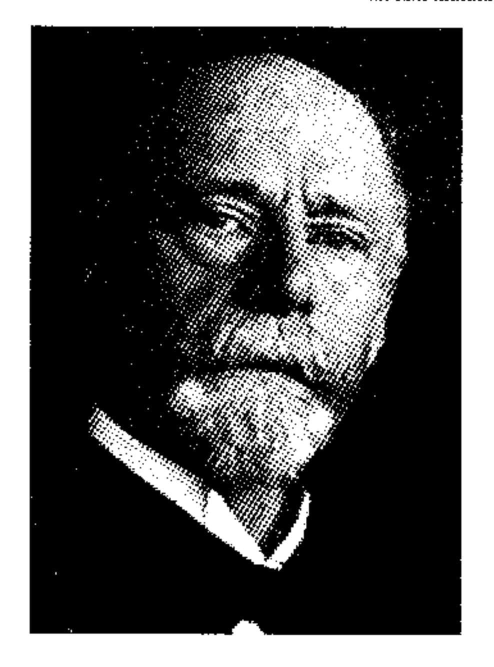
جيورجيوس پاپانيكولاو (١٨٨٣ - ١٩٦٢).

أمراض القلب

ظهرت أمراض القلب واعتلالاته سببًا رئيسيًا للوفاة في النصف الثاني من القرن العشرين. وصُرف الكثير من الجهد والمال على قضايا التشخيص والعلاج حتى وصلْنا إلى الوضع الحاليّ، الذي يمكن فيه التعامل مع المشكلات الطّارئة على اختلافها بمهنيّة ممتازة وناجعة.

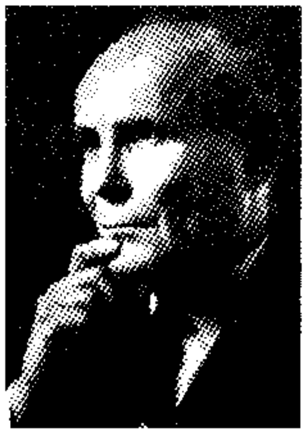
كانت البدايات في عام ١٩٠٣، حين وصف عالم وظائف الأعضاء ڤيلم (وليم) أينتهوڤن Willem Einthoven – لأوّل مرّة – تخطيط القلب الكهربائي Electrocardiograph؛ فاتحًا بذلك الباب لإمكانية استخدام النشاط الكهربائيّ للقلب في تشخيص اعتلالاته. كان هذا العالم الهولنديّ، المولود في إندونيسيا، هو الذي سمّى موجات التّخطيط الكهربائي للقلب بأسمائها الحالية. ويُسمّى المثلّث المحدد على صدر المريض الذي توضع على زواياه مجسّات الجهاز باسمه: Einthoven's Triangle. وقد منح جائزة نوبل في الطب عام ١٩٢٤.

عقب ذلك، في عام ١٩١١، بيّن الكيميائيّ الهنغاريّ جورج ڤون هيڤيسي George Von Hevesy إمكانية استخدام النّظائر المشعّة في تشخيص الأمراض. وقُدّر إنجازه هذا بمنحه جائزة نوبل عام ١٩٤٣. وبناءً عليه، استخدم الطبيب هيرمان بلمغارت Hermann Blumgart (١٨٩٥-١٩٧٧) في مدينة بوسطن الأمريكيّة نظيرًا مشعًّا لتشخيص أمراض عضلات القلب لأول مرة، وذلك عام ١٩٢٧.

أول من استخدم النظائر المشعة في الطب، ومخترع أول جهاز تخطيط كهربائي للقلب:
جورج ڤون هيفيسي (١٨٨٥ ـ ١٩٦٦)، و ڤيلم (وليم) أينتهوفن (١٨٦٠ ـ ١٩٢٧).
حصلا على جائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩٤٣، وجائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا
عام ١٩٢٤، على الترتيب.

تمكّن الأطباء من إدخال أنبوبة قسطرة لتصوير شرايين القلب بعد حقنها بمادة ظليلة . وكانت القسطرة من اختراع سڤن سيلدنغر عام ١٩٥٣ (انظر «علم الأشعة والتّصوير الطبّيّ»). ويعزى الفضل في إدخال أول قسطرة في القلب إلى الطبيب الألماني ڤيرنر فورسمان Werner Forssmann ، الذي أدخال القسطرة في قلبه هو عام ١٩٢٩ ؛ حين كان عمره ٢٥ عامًا. ومنح فروسمان جائزة نوبل في الطب عام ١٩٥٦ ؛ مع الطّبيبين أندريه كورناند Andre Cournand وديكنسون ريتشاردز Dickinson Richards، اللذيْن درسا آليّة حركة الدم في القلب .

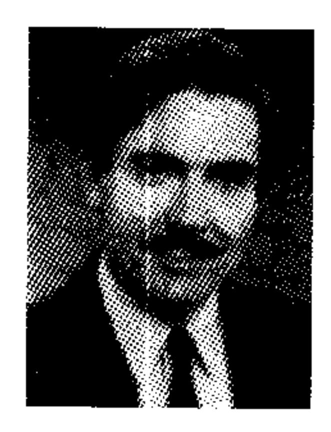

أول من أدخل في القلب، وأول من درس آليّة حركة الدم في القلب: ڤيرنر فورسمان (١٩٠٤ ـ ١٩٧٩)؛ أندريه كورناند (١٨٩٥ ـ ١٩٨٨)؛ ديكنسون ريتشاردز (١٨٩٥ ـ ١٩٧٣). نالوا جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٥٦.

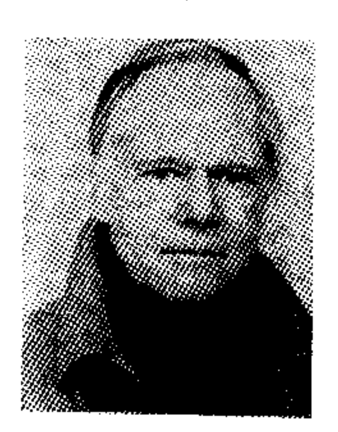
وكانت النتيجة الحتمية لذلك تفكير الأطباء بعلاج الشرايين المسدودة جراحياً. إلاّ أنه كان عليهم الانتظار حتى عام ١٩٦٧؛ حين أجرى جرّاح القلب الأرجنتينيّ رينيه جيرونيمو فاڤالورو Rene Geronimo Favaloro، الذي كان يعملُ في مستشفى عيادة كليڤلاند Cleveland Clinic الأمريكية، أول عملية لتجاوز مكان الانسداد في شريان عضلة القلب، عن طريق زرع وريد مأخوذ من جسم المريض ليعمل بديلاً له.



أول من أجرى عملية لتبديل شريان في القلب: رينيه جيرونيمو فاڤالورو (١٩٢٣ ـ ٢٠٠٠).

في عام ١٩٦٤ ، طُوّر مبدأ توسيع الشريان الضيّق عن طريق إدخال بالون محمول في قسطرة إلى الشريان الضيق ، ثم نفخه هناك؛ بحيثُ يؤدّي ذلك إلى توسيع الشّريان . وعُرفت هذه الطريقة بعد ذلك بتوسيع الشريان بالبالون Balloon angioplasty . وكان مَنْ طورّها تشارلز دوتر Charles Dotter وميلڤن غدكنز Melvin Gudkins عام ١٩٦٤ ؛ كما استخدماها لتوسيع شريان في الفخذ . ويُعزى الفضْلُ في استخدام بالون القسطرة لتوسيع شريان القلب إلى طبيب الأشعة العالم الألمانيّ أندرياس غرونتزغ Andreas Gruentzig ، الذي كان يعمل في مستشفى جامعة زيوريخ في سويسرا ، وذلك عام ١٩٧٧ . وتبيّن للأطباء بعد ذلك أن كثيراً من الشرايين الموسَّعة تعود إلى التضيُّق بعد فترة ، وبحثوا في كيفية إبقائها مفتوحةً باستمرار . وتواصلت جهودهم إلى أن طوّر الطّبيب أورليخ سيغفارتUrlich Sigwart عام ١٩٨٦ شبكة Stent ، توضع داخل الشريان بعد توسيعه لإبقائه مفتوحـًا . وقد حصل هذا العالم على جائزة الملك فيصل العالمية للطّب عام ٢٠٠٤ .





أول من أجرى عملية لتوسيع شريان في القلب، وأول من زرع شبكة في واحد من شرايين القلب؛ أندرياس غرونتزغ (١٩٣٩ ـ ١٩٨٥)، وأورليخ سيغفارت (١٩٣٤ ـ   ).

كانت المشكلة التالية حدوث التجلُّط على الشّبكة . وحُلّت هذه بإدخال دعامات تفرز أدويةً مانعة للتجلُّط Drug eluting stents ، وذلك في أواخر القرن العشرين .

طوّر المهندس الأمريكيّ إيرل باكن Earl Bakken عام ١٩٥٧ أول منظِّم خارجي لنبضات القلب. وركّب هذا المريض، وجرى التحكُّم في النبضات من خلال الجهاز الذي علّقه المريض في رقبته، وكانت أسلاك الجهاز تخترق جلد المريض لتصل إلى قلبه. لكن أول جهاز منظّم للنبضات زرع تحت الجلد أُنتج ورُكّب عام ١٩٥٠ في مستشفى جامعة كارولينسكا في سولنا Solna بالسويد. صنعه روون إيلمكڤست Rune Elmqvist، وركّبه جرّاح القلب أكي سيننغ Ake Senning.

في تلك الأثناء، كان التقدم في جراحة القلب يسير بتسارع شديد. ففي عام ١٩٥٦، تمكّن الطبيب دونالد إفلر Donald Effler والطبيب لورنس غروڤز Laurence Groves من إيقاف القلب قبل إجراء العمليات عليه، وذلك باستخدام آلة اخترعها الطبيب ڤيلم كلوف Willem Kloff تقومُ مقامهُ ومقام الرئة لفترة مؤقتة.

وفي عام ١٩٦٧، أجرى الطبيب جرّاح القلب كريستيان بارنارد من جنوب أفريقيا أول زراعة لقلب؛ في حين أنّ أول قلب صناعي مؤقّت زُرِعَ على يدي الدكتور دنتون كولي Denton Cooley عام ١٩٦٩، في تكساس بالولايات المتحدة، في جسد مريض انتظاراً لزراعة قلب دائم.



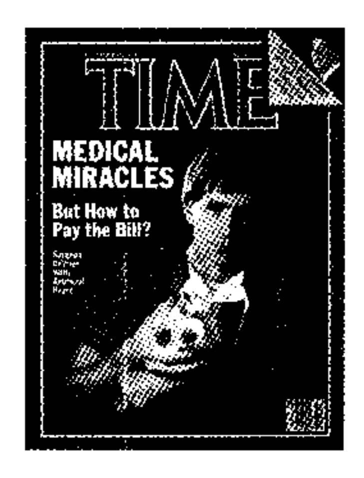


أول من أوقف القلب خلال عملية، وأول من زرع قلباً صناعياً في جسد مريض؛
دونالد إفلر (١٩١٥ ـ ٢٠٠٤)، ودِنتون كولي (١٩٢٠ ـ   ).

أما أول زراعة ناجحة لقلب ورئة، فقد أجريت في جامعة مينيسوتا عام ١٩٨١ على يَدي الدكتور بروس ريتز Bruce Ritz؛ أجريت للسيدة ماري جولك، التي عاشت ٥ سنوات بعدها.

كان المهندسُ الطبي روبرت جارفيك Robert Jarvik قد طوّر قلبًا صناعيًّا متطورًا مبنيًّا على نموذج القلب الصناعيّ الأول في العالم، الذي صنعه پول وينشل Paul Winchell عام ١٩٦٣. وقام الجراح ويليام ديڤريس William DeVries عامَ ١٩٨٢ بزراعة أول قلب صناعي (جارفيك ٧) في قلب المريض، طبيب الأسنان بارني كلارك، الذي عاش ١١٢ يومًا بعد العملية متّصلاً بجهاز خارجي يشغّل القلب الصناعيّ؛ في حين عاش المريض الثاني بيل شرويدر Bill Schroeder ٦٢٠ يومًا بعد العملية. وظهر ديڤريس على غلاف مجلّة **تايم** الأمريكيّة في كانون الأول/ ديسمبر عام ١٩٨٤. (أنظر أيضًا «نقل الأعضاء والأنسجة وزراعتها».)





أول من زرع قلبًا صناعيًا، وأول من طوّره:

وليام ديڤريس (١٩٤٣ ـ)، وروبرت جارفيك (١٩٤٦ ـ).

الجراحة وفروعها

تقدّمت الجراحةُ عبر العصور نتيجة لجهود العلماء في اكتشاف (أو اختراع) أساليب وطرق شتى وتطويرها . فأساليب التعقيم والخيوط الجراحية والتخدير كانت من الأمور التي كان لها دورٌ عظيم في توفير الظروف الملائمة لتقدّم هذا الفنّ العريق .

بيّن العالم النّمساويّ كارل لاندشتاينر Karl Landsteiner عام ١٩٠١ وجود أنواع مختلفة من الدم البشري ، وحدد زُمر الدّم Blood Groups . ونال جائزة نوبل في الطب عام ١٩٣٠ . ولم تتوقف إنجازاتُ لاندشتاينر عند ذلك ؛ فقد اكتشف عام ١٩٣٧ ، هو والعالم أليكساندر ڤاينر Alexander Weiner ، عامل الريسوس Rhesus factor في الدّم . وساعدت هذه الاكتشافات في إيجاد اختبارات تطابق الدّم عند نقله من مريض لآخر .

أُجريت في ٢٧/ ٣/ ١٩١٤ بمدينة بروكسل في بلجيكا أول عملية نقل دم ناجحة على يَدَي الطّبيب ألبرت هَستن Albert Hustin . وقبل ذلك ، في عام ١٩٠٥ ، أجرى جورج كرايل George Crile أوّل عملية نقل دم مباشرة في مستشفى عيادة كليڤلاند . وتقديراً لجهوده ، سُميت إحدى سُفن الأسطول الأمريكيّ إبّان الحرب العالمية الثانية باسمه .





مكتشف زُمر الدَم، وأول من أجرى عملية نقل دم:

كارل لاندشتاينر (١٨٦٨ ـ ١٩٤٣)؛ جورج كرايل (١٨٦٤ ـ ١٩٣٤)؛ ألبرت هَستن (١٨٨٢ ـ ١٩٦٧).

يُعزى إلى الطبيب السّويديّ هانز كريستيان جاكوبايوس Hans Christian Jacobaeus الفضلُ في أنّه كان أول من استكشف تجويفَي البطن والصدر؛ مستخدمًا المنظار [Laparoscopy وThoracoscopy]، عامي ١٩١٢ و١٩١٠، في مستشفى جامعة كارولينسكا بالسويد. ولم يكن من الممكن في ذلك الوقت التقاط صور عن طريق المنظار. فلم يصبح ذلك متوافراً إلا عام ١٩٥٠؛ حين طوّرت شركة أوليمپوس Olympus مُصوّرة متّصلة بمنظار المعدة. غير أن فضل تطوير المناظير (خاصّة تلك المتعلقة بالمعدة والأمعاء) إلى ما هي عليه الآن يعود إلى الطبيب اليابانيّ هيرومي شينيا Hiromi Shinya في نهايات ستينيّات القرن العشرين.



مطور المناظير:

هيرومي شينيا (١٩٣٥ ـ   ).

لم يُقتصر استخدام المناظير على التشخيص؛ فقد استُخدمت أيضًا بصورة متزايدة في العلاج الجراحيّ. ففي ١٢/٩/١٩٨٤، أجرى الطّبيب إريخ موهي Erich Mühe من مدينة بوبلينغن في ألمانيا أوّل عملية لاستئصال المرارة عن طريق المنظار، تبعتها عمليّات أخرى على مختلف أجزاء الجسم؛ وذلك لأنها جراحة سريعة وقليلة المخاطر. وطُوّرت في نهايات القرن العشرين طريقة التنظير عن طريق ابتلاع مُصوّرة صغيرة على شكل كبسولة Capsule endoscopy، تستخدم مرّة واحدة فقط، وتبثّ صوراً لداخل المعدة والأمعاء في أثناء مسيرها داخل الجهاز الهضمي، وتُلتقط هذه الصّور بجهاز خارجي.

يُعدّ هارفي كَشينغ Harvey Cushing أبا جراحة الدّماغ والأعصاب؛ فقد أجرى في عام ١٩٠٢ أول عملية على الدماغ الآدميّ. وفي عام ١٩٠٨، استنبط الجرّاح فيكتور هورسلي Victor Horsley طريقة الدخول إلى عُمق الدماغ؛ مستخدمًا المسبار Stereotacic.

حصل العالم كيفن توهيKevin Touhy عام ١٩٤٨ على حقوق صناعة عدسة لاصقة Contact lens، توضع أمام القرنية لتصحيح قوّة الإبصار. وكانت العدسة من مادّة بلاستيكية قاسية إلى أن استُبدلت بها عام ١٩٥٤ عدسةٌ طريّة، على أيدي الكيميائيّيْن التشيكيّيْن أوتو ويشتريل Otto Wichtrele، ودراهوسلاف ليم Drahoslav Lim. وفي عام ١٩٨١، أُنتجت العدسةُ المستهلكة التي يمكنُ استعمالها ٢٤ ساعة. وانتهى القرنُ والعلماء على وشْك تسجيل قرنية تُسْتخدم شهراً.




أبو جراحة الدماغ الحديثة، وأول من صنع عدسة لاصقة:
هارفي كَشينغ (١٨٦٩ ـ ١٩٣٩)؛ أوتو ويشتريل (١٩١٣ ـ ١٩٩٨).

في تلك الأثناء، كان طبيبُ العيون البريطانيُّ سير هارولد ريدلي Sir Harold Ridley قد تمكن يوم ٢٩/ ١١/ ١٩٤٩ من زراعة أول عدسة داخل العين لمريض في مستشفى سانت توماس بمدينة لندن. لكنّ فضْل تطوير هذه العدسة إلى الصورة الّتي هي عليها الآن يعود إلى طبيب العيون الأمريكيّ ستيڤن شيرنغ Steven Shearing.




أول من زرع عدسة داخل العين، و مطور العدسة الحديثة:
سير هارولد ريدلي (١٩٠٦ ـ ٢٠٠١)؛ ستيڤن شيرنغ (١٩١٣ـ   ).

كان طبيبُ العيون الإسباني خوزيه باراكير Jose Barraquer يعمل في مدينة بوغوتا، عاصمة كولومبيا؛ حين تمكّن عام ١٩٥٠ من تطوير طريقة لاقتطاع شريحة من القرنية، لتصحيح أمراض قصَر النّظر. وطوّر العالمان، الروسي سڤياتوسلاڤ ڤيداروڤ Svyatosalv Vidarov والألماني ثيو سايلر Theo Seiler، طريقة قطع القرنية عامي ١٩٧٤ و ١٩٨٣ ،على التوالي. وكان الفيزيائيُّ الهنديّ الأصل ماني لال بوميك Mani Lal Bhaumik يعمل بين عامي ١٩٦٨ و ١٩٧٣ في جامعة كاليفورنيا؛ حين اكتشف ما سُمّي لاحقًا إكسيمر ليزر Excimer laser. وهو الاكتشاف الذي كان الأساس في عمليّات تصحيح الإبصار اللاحقة. فقد بيّن العالمُ رانغاسوامي سرينيڤاسان Rangaswami Srinivasan عام ١٩٨٠ أن هذا النّوع من الليزر يمكنه القَطْع في الأنسجة بدقة لامتناهية من دون الإضرار بها. وكتب الدكتور ستيفن توركل Stephen Torkel عام ١٩٨٣ بحثًا عن إمكانيّة استخدام الليزر في عمليّات تصحيح الإبصار. كما أجرى طبيبا العيون، الإيطاليّ لوشيو بوراتو Lucio Buratto واليونانيّ يوانيس پاليكاريس Ioannis Pallikaris عام ١٩٩٠، أوّل عملية بهذه الطريقة متسلّحيْن بقدْر من المعرفة وببعض الجُرْأة؛ فاتحين المجال أمام آلاف العمليات التي تُجْرى يوميًا.



رواد تصحيح الإبصار بالليزر:

ماني لال بوميك؛ لوشيو بوراتو؛ يوانيس پاليكاريس.

كان جرّاح العظام البريطانيّ فيليپ وايلز Philip Wiles أول من بدّل مفْصل الفخذ في ثلاثينيّات القرن؛ لكنّ المفْصل الّذي رُكّب آنذاك كان غَيْر فعّال. وأعقب ذلك تطوير جورج ماكي George Mckee في الخمسينيات طريقةَ إلصاق المفْصل بالعظام عن طريق نوع من الموادّ الرّاتنجيّة. وركّب جرّاحُ العظام البورميّ سان باو San Baw عام ١٩٦٠ مفْصلاً صناعيّاً مصنوعًا من العاج لسيّدة تبلغ من العمر ٨٣ سنة، عوضًا عن مفصل فخذها المكسور. وبقي الأمر كذلك إلى أن استخدم الجرّاح البريطاني سير جون تشارنلي Sir John Charnley الفولاذ بدلاً من العاج، وأدخل تعديلات على مكوّنات المفصل. وبقيت الحاجة إلى استخدام موادّ صناعية لجمع طرفي المفصل قائمة؛ إلى أن جاء العالم پيتر رنغ Peter Ring وصنع المفْصل ذاتيّ الاتّصال. تلا ذلك تطوير مفاصل صناعيّة للركبة؛ ومن ثم لمعظم أجزاء الجسم.



الرواد في زراعة مفصل الفخذ:

سير جون تشارنلي (١٩١١ ـ ١٩٨٢)؛ پيتر رنغ (١٩٣٠ ـ   )؛ جورج ماكي (١٩٣٠ ـ   ).

في عام ١٩٨٣، طُوّر في مختبرات شركة **دورنير Dornier** الألمانية جهاز للتخلّص من الحصى في المجاري البولية؛ وهو الجهازُ المسمّى جهاز تفتيت الحصى

Lithotriptor . وقاد تطويرُ ذلك الجهاز إلى ثورة في علاج هذا المرض المزعج. وتجرى في الولايات المتحدة وحدها عمليّات من هذا النوع يصل عددها إلى نحو مليون عملية سنويّـاً.

كانت السِّمنة ـ ولا تزال ـ أحد الأسباب الكامنة خلف الكثير من الأمراض. ويُعدُّ ارتباطها الوثيق بأمراض السّكري وزيادة التّوتُّر الشريانيّ والجلطات المختلفة من الأمور المُسلَّم بها، التي يعرفها الخاصّةُ والعامّة. وقد حاول الجرّاحون استنباط عمليات لمساعدة المرضى الذين يعانون من السِّمنة المفرطة، والذين فشلت الحمية الغذائية في إنقاص أوزانهم.

كانت العمليّات تقتضي اقتطاع جُزء من المعدة، أو وصلها مباشرةً بالأمعاء الدقيقة، على نحو يجري فيه تخطّي الإثني عشر Gastric bypass. وتبيّن لاحقًا أنّ لهذه العمليات تأثيرات جانبيّة سيئة. تلا ذلك تطوير عملية غرس رزّات Staples في المعدة تمنع وصول الطعام إلى ثُلثها؛ ما يؤدي إلى أن يصغر حجم المعدة فتمتلئ بسرعة؛ الأمر الذي يقود بدوْره إلى فقدان الوزن.

بقي الأمر كذلك حتى عام ١٩٨٥؛ حين طوّرت شركة **أوبتيك Obtech** السّويديّة، المملوكة حاليًا لشركة **جونسون وجونسون Johnson & Johnson**، طريقةً لتصغير حجم المعدة عن طريق زرع رباط مجوّف قابل للنّفخ Band من مادة السيليكون حول المعدة، وذلك لحجز جزء منها، مؤدّيًا الغرض السابق نفسه. وللرّباط نهايةٌ تُزرعُ تحت الجلد؛ ومن خلالها يمكن حقن المحلول الملحيّ الذي يُضخُّ في الرباط لزيادة حجمه، ومن ثم تقليل حجم المعدة، أو سحب المحلول لتوسيع المعدة إن لزم ذلك. واليوم تُجرى هذه العمليات لمئات الآلاف من المرضى في جميع أنحاء العالم.

أدخل الطّبيب الفرنسيُّ إيف ـ جيرارد إيلوز Yves-Gerard Illouz عام ١٩٨٢، في مستشفى سانت لويس بمدينة باريس، طريقة جديدة لإزالة الدّهن الزائد في الجسم عن طريق شفطه Liposuction. واكتسبت هذه الطريقة، التي سميت باسمه، شهرةً واسعةً منذ ذلك الوقت. وقد أجريت عليها تعْديلات كثيرة، كان آخرَها استخدامُ

الموجات فوق الصوتية وأشعة الليزر في عملية إزالة الدهن قبل شَفطه. والجدير ذكره أنّ هذه الطريقة ليست بديلاً عن الحمْية أو عمليّات علاج السّمنة التي أوضحناها آنفًا؛ لكنها باتت تستخدم باعتبارها عملية تجميلية.



رائد عمليات شفط الدّهون:
إيف - جيرارد إيلوز (١٩٤٠ -).

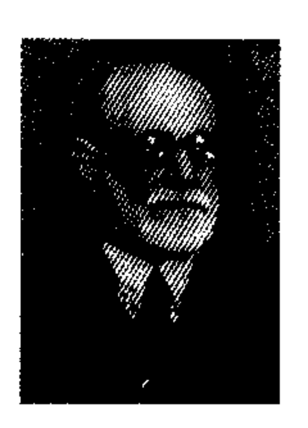
الصّحّة النّفسيّة

في بدايات القرن العشرين، كانت الأمراض النفسية تُعَدّ حكمًا بالحياة التّعيسة. وكان الكثيرون من المرضى يعالجون بالاحتجاز في المصحّات، بغياب رعاية صحّيّة من أيّ نوع. لكنّ الأمر تغيّر في النصف الثاني من القرن بتحسّن طرق التشخيص. وزالت الرهبة المحيطة بهذا النّوع من الأمراض.

كان العالم الألماني هانز بيرغر Hans Berger قد اكتشف مبدأ التّخطيط الكهربائيّ للدماغ Electroencephalography عام ١٩٢٩. واكتشف لاحقًا موجات ألفا الدّماغيّة Alpha waves، التي سميت باسمه: «موجات بيرغر». وساهم هذا في الكشف عن أمراض عضوية تُصيب الدّماغ، مثل الصرع وغيرها؛ ما كان يُنظر إليه على أنّه من الأمراض التي تصيب العقل وتسبب الجنون.

في ذلك الوقت، كان العالم النّمساوي سيغموند فرويد Sigmund Freud قد شَرَع في وضْع نظرياته المتعلقة بالتّحليل النّفسيّ. وأدّى ذلك إلى إدراك كُنه كثير من الأمراض النفسية، وساعد في وضع الحلول لها.





الرواد في فهم الأمراض العصبية والنفسية:
هانز بيرغر (١٨٧٣ ـ ١٩٤١)، وسيغموند فرويد (١٨٥٦ ـ ١٩٣٩).

نفّذ طبيبُ الأعصاب البرتغاليّ إيغاس مونيز [الذي مرّ ذكره في «علم الأشعة والتصوير الطبي»] أولى محاولات العلاج الجراحيّ عام ١٩٣٥ عن طريق إزالة الفصّ الأمامي للدّماغ، الذي يتحكّم في تصرُّفات الإنسان Lobotomy. وشاع استخدام هذه العملية لعلاج الكثير من الأمراض النفسية، التي عجزت الأدوية عن السيطرة عليها. وكرّمت المؤسسة الملكية السويدية هذا الطبيب بمنحه جائزة نوبل في الطب عام ١٩٤٩؛ مناصفة مع العالم ولتر هس Walter Hess، الذي اكتشف كيفية تحكُّم الدماغ بالأعضاء الداخلية. وسمِّيت باسمه حزمة هس The bundle of Hess؛ وهي من الحُزم العصبية المهمّة. وقد جرى التخلّي عن إجراء مثل هذه العمليّات لاحقًا تحت ضغْط مجموعات حقوق الإنسان؛ وطُوّرت بدلاً منها أساليب جراحية أكثر إنسانية.

كانت الخطوة البارزة التالية في علاج الأمراض النفسية المستعصية هي اكتشاف مبدأ العلاج بتسبيب النوبات Convulsive therapy عام ١٩٣٤. فقام العالم المجريُّ لاديسلاس ميدونا Ladislas Meduna بتسبيب نوبات الصَّرع بحقن أدوية معينة في جسم المريض؛ ما أدى إلى شفاء أمراض نفسيه معينة. واتّبع المبدأ نفسه عام ١٩٣٧ العالم الإيطاليّ أوغو كيرليتي Ugo Cerletti؛ حين كان يعمل في جامعة روما لاسپينزا Roma La Spienza؛ حين استخدام الكهرباء بدلاً من الأدوية لتسبيب النوبات، فيما عُرف بعدئذ بالعلاج بالصدمة الكهربائية Electroconvulsive therapy.





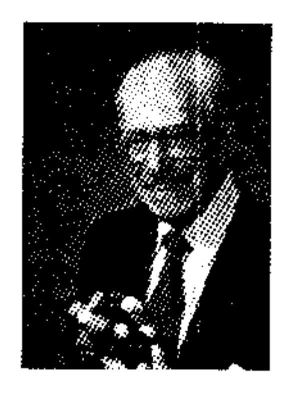
الروّاد في فسيولوجيا الأمراض العصبية والنفسية وعلاجها:

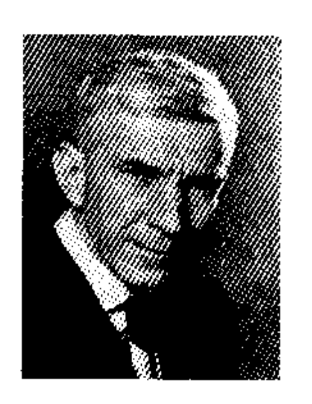
ولتر هِس (١٨٨١ ـ ١٩٧٣)؛ إيغاس مونيز (١٨٧٤ ـ ١٩٥٥)؛ أوغو كيرليتي (١٨٧٧ ـ ١٩٦٣).

حصل الأولان على جائزة نوبل عام ١٩٤٩.

استخدم العلماء في خمسينيّات القرن أدويةً لعلاج انفصام الشخصيّة. كما استُخدم دواء الفاليوم Valium لأوّل مرة في السبعينيات لعلاج القلق النفسي وأمراض نفسية كثيرة. وتعُدّه منظمة الصحة العالمية من الأدوية الأساسية. اكتشف الفاليوم العالم البولنديّ ليو ستيرنباخ Leo Sternbach عام ١٩٦٣. وكان الدّواء الأكثر مبيعًا في العالم بين عامي ١٩٦٩ و١٩٨٢. ومن اكتشافات ستيرنباخ الأخرى: دَوَاءا الليبريوم، والموغادون، وغيرهما.

كان الاكتئاب النفسي من الأمراض التي أثّرت في الكثيرين من النّاس؛ كما دفعت بعضًا منهم للانتحار. وقد استخدم العلماء في بدايات الخمسينيات، وعلى رأسهم العالمان إيرفنغ سيليكوف Erving Silikoff وإدوارد روبيتزيك Edward Robitzyk، دواء إيزونيازيد Isoniazid المضاد للسُّلّ في علاج الاكتئاب؛ ونجحوا في ذلك. واكتشف العالم السويسريّ رولاند كُون Roland Kuhn عام ١٩٥٥ مضادّات الاكتئاب الثلاثية الحلقات Tricyclic antidepressants، التي استُعملت بنجاح باهر. كما قامت وكالة الغذاء والدّواء الأمريكيّة عام ١٩٨٨ بتسجيل دواء پروزاك Prozac، الذي اكتسح الأسواق باعتباره الحل الأمثل للاكتئاب. ويعزى الفضل في تصنيع هذا الدّواء للعلماء ري فولر Ray Fuller، وبريان مولوي Bryan Molloy، وديڤيد وونغ David Wong، العاملين في شركة الأدوية **إيلاي ليلي Eli Lilly**.





مكتشفا دواء الفاليوم والأدوية الثلاثية الحلقات:

ليو ستيرنباخ (١٩٠٨ ـ ٢٠٠٥)، و رولاند كُون (١٩١٢ ـ ٢٠٠١).

كان اكتشاف الجينات عمومًا وبيان دَوْرها في الوراثة من أهمّ منجزات الإنسانيّة. ففي عام ١٩٠٢، أثبت ولتر ساتون Walter Sutton أنّ الكروموسومات تحمل الصّفات الوراثية. وفي عام ١٩٤٢، قال أوسوالد أڤري Oswald Avrey إنّ الصّفات الوراثيّة محمولةٌ في الحَمْض النّوويّ للخليّة. كما أنتج ستيوارد F.C. Steward عام ١٩٥٨ جزرة كاملة من خليّة جذْر. غير أنّ هذا الإنجاز لم يكتملْ إلا حين اكتشف العالمان، البريطانيُّ فرانسيس كريك Francis Crick وزميله الأمريكيُّ جيمس واتسون James Watson، عام ١٩٥٣ الإهليل (الحلزون) المزدوج للحَمْض النووي (الدنا DNA). وقد ساعد هذا الاكتشاف في فهم كيفية حَمْلِ هذا الحمض الصِّفات الوراثية. وكُرِّم هذان العالمان بمَنْحهما جائزةَ نوبل عام ١٩٦٢.




مكتشفا تركيبة الحمض النووي؛
فرانسيس كريك (١٩١٦ ـ ٢٠٠٤)، وجيمس واتسون (١٩٢٨ ـ   ).
حصلا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٦٢.

في عام ١٩٦٣، أطلق البريطانيُّ جون هولدين John Haldane تعبير الاستنساخ Cloning لأول مرة. وتمكّن العالمان جيمس شاپيرو James Shapiro وجوناثان بيكْوذ Johnathan Bechwith في جامعة هارڤرد من فصل أوّل جين عام ١٩٦٩. ثمّ بيّن الأمريكيّان مارشال نيرنبرغ Marshall Nirenberg وروبرت هولي Robert Holley بعد ذلك كيفيّة قيام الحمْضِ النوويّ بتحديد تركيب البروتينات Genetic code؛ ما ساعد العالمَ الهندي هارغوبيند خورانا Har Gobind Khorana في صناعة أوّلِ جينٍ في العالم عام ١٩٧٠. ومُنح هؤلاء الثّلاثة جائزة نوبل عام ١٩٦٨.





مكتشفو الكودة الجينية:

هار غوبيند خورانا (١٩٢٢ ـ   )؛ روبرت هولي (١٩٢٢ ـ ١٩٩٣)؛ مارشال نيرنبرغ (١٩٢٩ ـ ٢٠١٠).

حصلوا على جائزة نوبل في الطب والفسيولوجيا عام ١٩٦٨.

لقد كانتْ صناعةُ الجين فاتحةَ عهد جديد؛ إذ أصبح بالإمكان عزلُ الجينات وتغييرُها واستنساخُها. واستُخدمت الهندسة الوراثيّة Genetic Engineering في تشخيص الأمراض وعلاجها. كما تمكّن العُلماءُ من تحديد جينات مسبّبة للسّرطان وأمراضِ القلب والسّمنة والأمراض النفسية، وعملوا على تغيير هذه الجينات لعلاج المَرَض. واستُخْدمت الهندسةُ الوراثية في إنتاجِ الكثيرِ من الأدوية التي كان يصعُب الحصولُ

عليها . وبهذا جرى توفير الدّواء بأسعار أقلّ للذين لم يكونوا قادرين على شرائه .

وكانت مسألةَ وقت أنْ يتمكن العلّماءُ من استنساخِ كائن حيّ من خلية من كائن بالغ . ففي عام ١٩٩٧ ، في معهد روزلن باسكتلندا، تمكَّن كيث كامبل Keith Campbell وزملاؤه، تحت إشراف مدير المعهد إيان ويلموت Ian Wilmut ، من استنساخ نعجة من خلية أخذت من ضرع نعجة أخرى . وسُمّيت النعجة دولي Dolly ، تيمنًا بالممثلة الأمريكية دولي پارتون . لقد كان العلماء يعتقدون قبل هذا الإنجاز أنّ الخلية لا يمكن أن تنتجَ إلا نسيجًا مُشابهًا لذاك الذي أخذت منه ؛ لا أن تُنتجَ كائنًا حيّـًا جديداً . وفي عام ٢٠٠٣ ، نَفَقَت النّعجةُ دولي بفعل مرضٍ رئويّ .



إيان ويلموت والنعجة دولي.

الحاصلون على جوائز في الطّبّ والفسيولوجيا في القرن العشرين

العَقْد الأوّل ١٩٠١ ـ ١٩١٠

١٩٠١	إميل فون بيرنغ	Emile von Behring	مرض الدفتيريا
١٩٠٢	سير رونالد روس	Sir Ronald Ross	مرض الملاريا
١٩٠٣	نيلز رايبرغ فنسن	Niels Ryberg Finsen	مرض الذئبة
١٩٠٤	إيڤان پاڤلوف	Ivan Pavlov	فسيولوجية الهضم
١٩٠٥	روبرت كوخ	Robert Koch	السُّلّ (التدرّن الرئوي)
١٩٠٦	كاميلو غولجي	Camillo Golgi	تركيب الجهاز العصبي
	سانتياغو كاجال	Santiago Cajal	تركيب الجهاز العصبي
١٩٠٧	شارل لوي ألفونس لاڤيران	Charles Louis Alphonse Laveran	الطفيليات المسببة للمرض
١٩٠٨	إليا ميكنيكوف	Ilya Mechnikov	بحوث في المناعة
	پاول إيرليخ	Paul Ehrlich	بحوث في المناعة
١٩٠٩	إميل ثيودور كوخر	Emil Theodor Kocher	الغدة الدرقية
١٩١٠	ألبريخت كوسيل	Albrecht Kossel	بحوث في البروتينات

العَقْد الثاني ١٩١١ ـ ١٩٢٠

١٩١١	ألفار غولستراند	Allvar Gullstrand	بحوث في الإبصار
١٩١٢	أليكسس كاريل	Alexis Carrel	بحوث في نقل الأوعية الدمويّة
١٩١٣	شارل ريشيه	Charles R. Richet	بحوث في الحساسية المفرطة
١٩١٤	روبرت باراني	Robert Bárány	بحوث في جهاز الاتزان في الأذن
١٩١٥	لم تُمنح الجائزة	ـ	الحرب العالمية الأولى
١٩١٦	لم تُمنح الجائزة	ـ	الحرب العالمية الأولى
١٩١٧	لم تُمنح الجائزة	ـ	الحرب العالمية الأولى
١٩١٨	لم تُمنح الجائزة	ـ	الحرب العالمية الأولى
١٩١٩	جول بورديه	Jules Bordet	المناعة
١٩٢٠	أوغست كروغ	S. August Krogh	التحكم في الشعيرات الدموية

العَقْد الثالث ١٩٢١ - ١٩٣٠

١٩٢١	لم تُمنح الجائزة	-	
١٩٢٢	سير آرشيبالد هل	Sir Archibald V. Hill	إنتاج الحرارة في العضلات
	أوتو مايرهوف	Otto Meyerhof	التمثيل الغذائي للعضلات
١٩٢٣	سير فريدريك بانتنغ	Sir Frederick G. Banting	الإنسولين
	جون ماكلويد	John Macleod	الإنسولين
١٩٢٤	ڤيلم (وليم) أينتهوڤن	Willem Einthoven	جهاز تخطيط القلب
١٩٢٥	لم تُمنح الجائزة	-	
١٩٢٦	يوهانس فيبيغر	Johannes Fibiger	اكتشاف أحد أنواع السرطان
١٩٢٧	يوليوس ڤاغنر - ياوْرغ	Julius Wagner - Jauregg	مرض الملاريا
١٩٢٨	شارل نيكول	Charles Nicolle	مرض التيفوس
١٩٢٩	سير فريدريك هوپكنز	Sir Frederick Hopkins	اكتشاف في الڤيتامينات
	كريستيان إيكمان	Christiaan Eijkman	اكتشاف في الڤيتامينات
١٩٣٠	كارل لاندشتاينر	Karl Landsteiner	زُمَر الدم

العَقد الرّابع ١٩٣١ ـ ١٩٤٠

١٩٣١	أوتو ڤاربورغ	Otto Warburg	اكتشاف إنزيمات التنفس
١٩٣٢	سير تشارلز شيرنغتون	Sir Charles Sherrington	اكتشاف وظائف النيورونات
	بارون إدغار إدريان	Lord Edgar Adrian	اكتشاف وظائف النيورونات
١٩٣٣	ثوماس مورغان	Thomas H. Morgan	دور الكروموسومات في الوراثة
١٩٣٤	جورج ويپل	George H. Whipple	عَلاقة الكبد بفقر الدم
	جورج مينو	George R. Minot	عَلاقة الكبد بفقر الدم
	وليام ميرفي	William P. Murphy	عَلاقة الكبد بفقر الدم
١٩٣٥	هانس سپمان	Hans Spemann	تطور الجنين
١٩٣٦	سير هنري ديل	Sir Henry H. Dale	الانتقال الكيميائيّ في النبض العصبي
	أوتو لوي	Otto Loewi	الانتقال الكيميائيّ في النبض العصبي
١٩٣٧	ألبرت سنت ـ جيورجي	Albert Szent-Gyorgyi	الاحتراق الحيوي لڤيتامين ج
١٩٣٨	كورنيل هيمانز	Corneille Heymans	تنظيم التنفس
١٩٣٩	غيرهارد دوماجك	Gerhard Domagk	مضادات البكتيريا
١٩٤٠	لم تُمنح الجائزة	—	الحرب العالمية الثانية

العَقْد الخامس ١٩٤١ ـ ١٩٥٠

السنة	الاسم	Name	الإنجاز
١٩٤١	لم تُمنح الجائزة	—	الحرب العالمية الثانية
١٩٤٢	لم تُمنح الجائزة	—	الحرب العالمية الثانية
١٩٤٣	هنريك دام	Henrik C.P. Dam	اكتشاف طبيعة ڤيتامين ك
	إدوارد دواسي	Edward A. Doisy	اكتشاف طبيعة ڤيتامين ك
١٩٤٤	جوزيف إيرلانغر	Joseph Erlanger	وظائف الأعصاب
	هربرت غاسر	Herbert S. Gasser	وظائف الأعصاب
١٩٤٥	سير أليكساندر فليمنغ	Sir Alexander Fleming	البنيسلين
	سير إرنست تشين	Sir Ernest B. Chain	البنيسلين
	بارون هوارد فلوري	Lord Howard Florey	البنيسلين
١٩٤٦	هيرمان مولر	Hermann J. Muller	تأثير الإشعاع في الخلية
١٩٤٧	كارل كوري	Carl Cori	التمثيل الغذائي للكربوهيدرات
	غيرتي كوري	Gerty Cori	التمثيل الغذائي للكربوهيدرات
	بيرناردو هوسي	Bernardo Houssay	التمثيل الغذائي للكربوهيدرات
١٩٤٨	پول مولر	Paul H. Muller	تأثير مادة د د ت DDT في الحشرات
١٩٤٩	ولتر هِس	Walter Hess	التحكم العصبي في الأعضاء الداخلية
	إيغاس مونيز	A. Egas Moniz	جراحة الأمراض النفسية
١٩٥٠	إدوارد كندال	Edward C. Kendall	الكورتيزون
	تاديوس رايخستين	Tadeus Reichstein	الكورتيزون
	فيليپ هِنش	Philip S . Hench	الكورتيزون

١٩٥١	ماكس ثايلر	Max Theiler	مكافحة الحمّى الصفراء
١٩٥٢	سلمان واكسمان	Selman A. Waksman	ستريبتومايسين
١٩٥٣	سير هانز كريبس	Sir Hans Krebs	اكتشاف حلقات كيميائية
	فريتز ليبمان	Fritz Lipmann	اكتشاف حلقات كيميائية
١٩٥٤	جون إندرز	John F. Enders	خصائص ڤيروس شلل الأطفال
	توماس ويلر	Thomas H. Weller	خصائص ڤيروس شلل الأطفال
	فريدريك روبنز	Frederick C. Robbins	خصائص ڤيروس شلل الأطفال
١٩٥٥	أكسل هوغو ثيوريل	Axel Hugo Theorell	إنزيمات الأكسدة
١٩٥٦	أندريه كورناند	André F. Cournand	اكتشاف الحراك الدموي للقلب
	ڤيرنر فورسمان	Werner Forssmann	اكتشاف الحراك الدموي للقلب
	ديكنسون ريشاردس	Dickinson W. Richards	أول من استخدم قسطرة للقلب
١٩٥٧	دانييل بوڤيت	Daniel Bovet	تأثير المواد في الدورة الدموية
١٩٥٨	جورج بيدل	George Beadle	تنظيم المادة الجينية في البكتيريا
	إدوارد تاتوم	Edward Tatum	تنظيم المادة الجينية في البكتيريا
	جوشوا لدرْبرغ	Joshua Lederberg	تنظيم المادة الجينية في البكتيريا
١٩٥٩	سيڤيرو أوتشوا	Severo Ochoa	تكون الحموض الأمينية
	آرثر كورنبرغ	Arthur Kornberg	تكون الحموض الأمينية
١٩٦٠	سير فرانك مكفارلين بيرنيت	Sir Frank Macfarlane Burnet	الاحتمال المناعي
	سير پيتر برايان ميداوَر	Sir Peter Brian Medawar	الاحتمال المناعي

العَقْد السّابع ١٩٦١ ـ ١٩٧٠

١٩٦١	غيورغ (جورج) فون بيكيسي	George von Békésy	التنشيط داخل القوقعة
١٩٦٢	فرانسيس كريك	Francis Crick	تركيب الحمض النّووي
	جيمس واتسون	James Watson	تركيب الحمض النّووي
	موريس ويلكنز	Maurice Wilkins	تركيب الحمض النّووي
١٩٦٣	سير جون إيكلز	Sir John C. Eccles	إثارة غشاء الخلية العصبية
	سير ألان هودجكين	Sir Alan L. Hodgkin	إثارة غشاء الخلية العصبية
	سير أندرو هكسلي	Sir Andrew F. Huxley	إثارة غشاء الخلية العصبية
١٩٦٤	كونراد بلوخ	Konrad Bloch	التمثيل الغذائي للحموض الدهنية
	فيودور لينن	Feodor Lynen	التمثيل الغذائي للحموض الدهنية
١٩٦٥	فرانسوا جاكوب	Francois Jacob	التحكم الوراثي في تكوين الفيروس
	أندريه لوف	André Lwoff	التحكم الوراثي في تكوين الفيروس
	جاك مونو	Jacques Monod	التحكم الوراثي في تكوين الفيروس
١٩٦٦	بيتون راوس	Peyton Rous	العلاقة بين السرطان والهرمونات
	تشارلز هَغنز	Charles B. Huggins	العلاقة بين السرطان والهرمونات
١٩٦٧	راغنار غرانيت	Ragnar Granit	العمليات الكيميائية في الإبصار
	هالدان هارتلاين	Haldan K. Hartline	العمليات الكيميائية في الإبصار
	جورج والد	George Wald	العمليات الكيميائية في الإبصار
١٩٦٨	روبرت هولي	Robert W. Holley	الكودة الجينية
	هار غوبيند خورانا	H. Gobind Khorana	الكودة الجينية
	مارشال نيرنبرغ	Marshall W. Nirenberg	الكودة الجينية
١٩٦٩	ماكس ديلبروك	Max Delbruck	التركيب الجيني للفيروسات
	ألفرد هيرشي	Alfred D. Hershey	التركيب الجيني للفيروسات
	سالفادور لوريا	Salvador E. Luria	التركيب الجيني للفيروسات
١٩٧٠	سير بيرنارد كاتس	Sir Bernard Katz	الناقلات الهرمونيّة في الأعصاب
	أولف فون أويلر	Ulf von Euler	الناقلات الهرمونيّة في الأعصاب
	جوليوس أكسيلرود	Julius Axelrod	الناقلات الهرمونيّة في الأعصاب

العَقْد الثامن ١٩٧١ ـ ١٩٨٠

١٩٧١	إيرل ساذرلاند	Earl W. Sutherland, Jr.	عمل الهرمونات
١٩٧٢	جيرالد إيدلمان	Gerald M. Edelman	التركيب الكيميائي للأجسام المضادة
	رودني پورتر	Rodney R. Porter	التركيب الكيميائي للأجسام المضادة
١٩٧٣	كارل فون فريش	Karl von Frisch	التحكم في التصرفات الاجتماعية
	كونراد لورنز	Konrad Lorenz	التحكم في التصرفات الاجتماعية
	نيكولاس تنبيرغن	Nikolaas Tinbergen	التحكم في التصرفات الاجتماعية
١٩٧٤	ألبرت كلود	Albert Claude	تركيب الخلية
	كريستيان دي دوڤ	Christian de Duve	تركيب الخلية
	جورج پالاد	George E. Palade	تركيب الخلية
١٩٧٥	ديڤيد بلتيمور	David Baltimore	علاقة ڤيروس الورم بجينات الخلية
	ريناتو ديلبيكو	Renato Dulbecco	علاقة ڤيروس الورم بجينات الخلية
	هوارد تيمين	Howard M. Temin	علاقة ڤيروس الورم بجينات الخلية
١٩٧٦	باروخ بلومبيرغ	Baruch S. Blumberg	مصادر الأمراض المعدية وانتقالها
	كارلتون غادوسيك	D. Carleton Gajdusek	مصادر الأمراض المعدية وانتقالها
١٩٧٧	روجر جيليمان	Roger Guillemin	مصادر الأمراض المعدية وانتقالها
	أندرو شالي	Andrew V. Schally	إنتاج الپپتيدات في الدماغ
	روزالين يالو	Rosalyn Yalow	إنتاج الپپتيدات في الدماغ
١٩٧٨	ڤيرنر آربر	Werner Arber	الإنزيمات والوارثة في الخلية
	دانييل ناثانز	Daniel Nathans	الإنزيمات والوراثة في الخلية
	هاملتون سميث	Hamilton O. Smith	الإنزيمات والوراثة في الخلية
١٩٧٩	ألان كورماك	Alan M. Cormack	التصوير الطبقي
	سير غودفري هاونسفيلد	Sir Godfrey N. Hounsfield	التصوير الطبقي
١٩٨٠	باروج بن اسيراف	Baruj Benacerraf	الوراثة والمناعة
	جين دوسيه	Jean Dausset	الوراثة والمناعة
	جورج سِنل	George D. Snell	الوراثة والمناعة

العَقْد التاسع ١٩٨١ ـ ١٩٩٠

١٩٨١	روجر سپيري	Roger W. Sperry	وظائف الدماغ والإبصار
	ديڤيد هابل	David H. Hubel	وظائف الدماغ والإبصار
	تورستين ويسيل	Torsten N. Wiesel	وظائف الدماغ والإبصار
١٩٨٢	سون بيرغستروم	Sune K. Bergström	اكتشاف البروستاغلاندين
	بينغت ساموِيلسون	Bengt I. Samuelsson	اكتشاف البروستاغلاندين
	سير جون ڤين	Sir John R. Vane	اكتشاف البروستاغلاندين
١٩٨٣	باربارا ماكلينتوك	Barbara McClintock	الأجزاء الوراثية المتحركة
١٩٨٤	نيلز جيرن	Niels K. Jerne	الجهاز المناعي
	جورج كولر	Georges J. F. Köhler	الجهاز المناعي
	سيزار ميلستين	César Milstein	الجهاز المناعي
١٩٨٥	مايكل براون	Michael S. Brown	التمثيل الغذائي للكوليسترول
	جوزيف غولدستين	Joseph L. Goldstein	التمثيل الغذائي للكوليسترول
١٩٨٦	ستانلي كوهين	Stanley Cohen	عوامل النمو
	ريتا ليڤي ـ مونتالسيني	Rita Levi-Montalcini	عوامل النمو
١٩٨٧	سوسومو توناغاوا	Susumu Tonegawa	الأصول الوراثية للأجسام المضادة
١٩٨٨	سير جيمس بلاك	Sir James W. Black	أدوية منع رفض الأعضاء المزروعة
	غيرترود إليون	Gertrude N. Elion	أدوية منع رفض الأعضاء المزروعة
	جورج هتشنغز	George B. Hitchings	أدوية منع رفض الأعضاء المزروعة
١٩٨٩	مايكل بيشوب	J. Michael Bishop	الأصل الڤيروسي للسرطان
	هارولد ڤارموس	Harold E. Varmus	الأصل الڤيروسي للسرطان
١٩٩٠	جوزيف مَرّي	Joseph E. Murray	نقل الأعضاء وزراعتها
	دونال ثوماس	E. Donnall Thomas	نقل الأعضاء وزراعتها

العَقْد العاشر ١٩٩١ـ ٢٠٠٠

١٩٩١	إيروين نيهر	Erwin Neher	الأيونات في الخلايا
	برت ساكمان	Bert Sakmann	الأيونات في الخلايا
١٩٩٢	إدموند فيشر	Edmond H. Fischer	التمثيل الغذائي في البروتينات
	إدوين كريبس	Edwin G. Krebs	التمثيل الغذائي في البروتينات
١٩٩٣	ريتشارد روبرتس	Richard J .Roberts	الجينات المنقسمة
	فيليپ شارپ	Phillip A. Sharp	الجينات المنقسمة
١٩٩٤	ألفرد غلمان	Alfred G. Gilman	اكتشاف پروتين G
	مارتن رودبل	Martin Rodbell	اكتشاف پروتين G
١٩٩٥	إدوارد لويس	Edward B. Lewis	الوراثة وتطور الجنين
	كريستيان نوسلاين ـ فولهارد	Christiane Nüsslein-Volhard	الوراثة وتطور الجنين
	إيريك ويشوس	Eric F .Wieschaus	الوراثة وتطور الجنين
١٩٩٦	پيتر دوهرتي	Peter C. Doherty	الدفاع المناعي للخلية
	رولف زنكرناغل	Rolf M . Zinkernagel	الدفاع المناعي للخلية
١٩٩٧	ستانلي پروزينر	Stanley B. Prusiner	اكتشاف البريونات
١٩٩٨	روبرت فيرشغوت	Robert F. Furchgott	علاقة أكسيد النيتريك بالجهاز الدموي
	لويس إيغنارو	Louis J. Ignarro	علاقة أكسيد النيتريك بالجهاز الدموي
	فريد مراد	Ferid Murad	علاقة أكسيد النيتريك بالجهاز الدموي
١٩٩٩	غُنتر بلوبل	Gunter Blobel	حركة البروتين داخل الخلية
٢٠٠٠	أرڤيد كارلسون	Arvid Carlsson	الإشارات العصبية
	پول غرينغارد	Paul Greengard	الإشارات العصبية
	إريك كاندل	Eric R. Kandel	الإشارات العصبية

الفصل التاسع

التكنولوجيا الطّبّيّة البصريّة

أ.د. سُرى سبع العيش



التكنولوجيا الطّبّيّة البصريّة

الأستاذة الدّكتورة سُرى سبع العيش

المحتويات

علاج العقم والاستنسال الصّناعيّ
خياطة الجروح وإيقاف النّزْف
المجهر الجراحيّ
الطّبّ عن بُعد

مقدّمة

شهد القرن العشرون قفزات هائلة وفتوحات بارزة في شتّى مجالات العلوم والتكنولوجيا؛ امتدّت إلى الحاسوب، وغزو الفضاء، والاتصالات، والطب، والصناعة، وغيرها. وقد نال ميدان طب العيوان وجراحتها حصّته الوافرة من التقدم بفعل الكثير من المنجزات التكنولوجية المذهلة، التي تحققت على أيدي عدد من الرُّوّاد المبدعين المتخصصين في ابتداع تقنيات جديدة، وتصنيع أدوات وأجهزة متطورة، أعادت البسمة والأمل لكثيرين، عبر إعادة البصر لأناسٍ فقدوه أو تصحيح البصر لدى أشخاص اعترى بصَرَهم الضعْف والخلل.

نبدأ دراستَنا هذه بالإشارة ببَنان الإشادة والعرفان إلى عدد من روّاد الإنجاز في مجال التكنولوجيا البصرية في القرن العشرين. ثمّ نعرض لعدد من وسائل تصحيح البصر، كالنظارات الطبية والعدسات اللاصقة، ونتناول الاختلالات التي تُصَحَّح بوساطتها. بعدئذ، نتحدّث عن استخدام تقنية الليزر في الطب عمومًا، وفي طبّ العيون وجراحتها وتصحيح البصر خصوصًا. كما نخصّص جزءاً من الدراسة للحديث عن بعض التّقنيات المستخدمة في الطّب؛ مثل التصوير الطّبّيّ، والجراحة التّنظيرية، وجراحة الجهاز العصبيّ، وتشخيص الأمراض وعلاجها.

مِنَ الرُّوّاد

جوسيه باراكار

وُلد في إسبانيا، وانتقل إلى كولومبيا في خمسينيّات القرن الماضي. استحقّ أن يُسمّى أبا جراحة تصحيح البصر. له إسهامات مميزة في تطوير التّقنيات الجراحيّة المستخدَمة في استخراج السّاد من العين، وفي العمليات الجراحيّة المتعلقة بالقرنيّة. كما عمل على تحسين الخيوط، وصمم الكثير من الأدوات المستعملة في جراحة العين. وما زال بعض تلك الأدوات يحمل اسمه إلى يومنا هذا. كرّس جهوده لعمليات تعديل سطح القرنيّة من أجل تصحيح الاختلالات المتعلقة بانكسار الضوء في العين. صمّم

أداة قطْعِ القرنيّة أو نَحْتِها، وزرع عدسة في القرنية. وهو واضع الأساس لعملية «ايزك LASIK»، الشائعة في أيامنا هذه لتصحيح البصر. واصَلَ إدخال تحسينات على عمليات قرنيّة العين، ومارس جراحة العين، وقدّم للعالَم الكثير من الاختراعات في مجال جراحة العين وتصحيح البصر. تُوفي عام ١٩٩٨ عن ٨٢ عامًا.

شارل كلمان

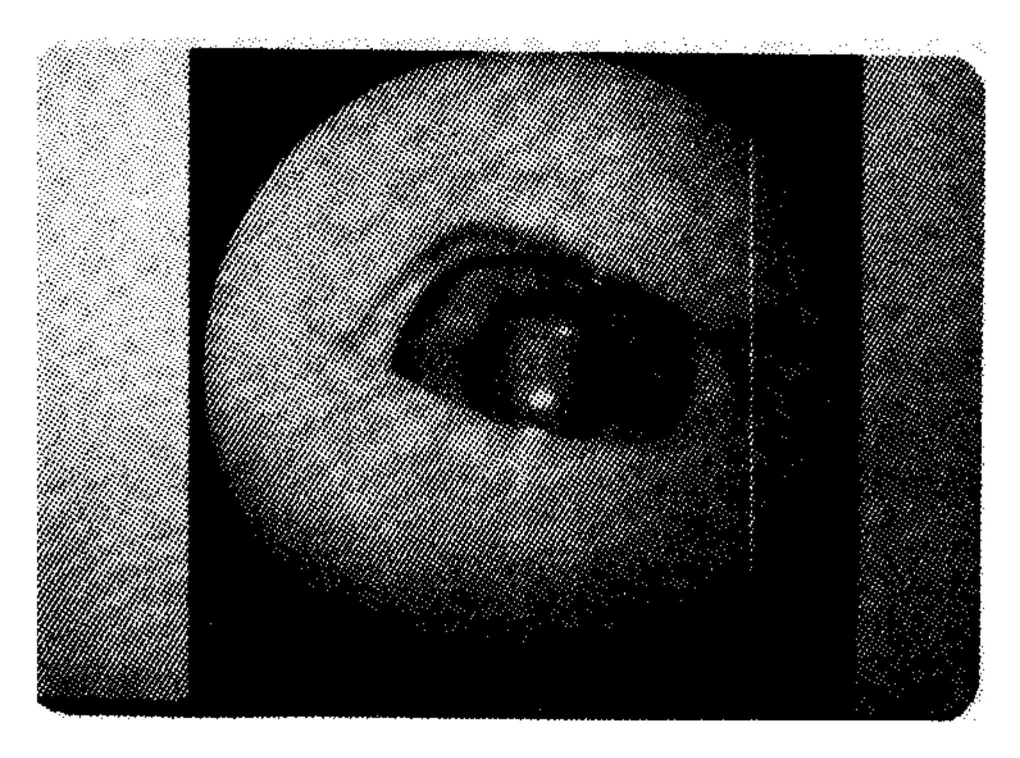
هو مخترع عملية استخراد العدسة التالفة ـ أي السّاد ـ من العين، باستخدام جهاز استحلاب العدسة المسمّى «فاكو» عام ١٩٦٤ . وكان يُدخل مسْبَرًا أجوف في العيْن ينغرس في العدسة المريضة؛ فيفتّتها بفعل اهتزازات قويّة صادرة عن جهاز لتوليد الموجات فوق الصوتية. وفي الوقت ذاته، يَستَحلب العدسة المفتَّتة بالماء المنساب من ثقوب في المسْبَر ويشفط المادة المستحلَبة والمفتَّتة بقوّة؛ فتخرج المادة البيضاء من العيْن، التي تصبح بدورها شفّافة ومنفّذة للضوء. لقد شكلت تلك العمليّة نقلةً نوعيّة بارزة في جراحة العيْن، وأرست الأساس لصنع الكثير من الأجهزة لاستخراج العدسة التالفة من العين بالاستحلاب.

ولعلّ من المفيد أن نذكر أن المبدأ الذي تقوم عليه هذه العمليّة ابتدعه الطبيب العربي المسلم وجرّاح العين عمّار بن علي الموصليّ في القرن العاشر الميلادي؛ حين اخترع المِقْدَحَ الأجوف، الذي كانت تُشفط به مادّة السّاد التالفة بعد تفتيتها بالمصّ.

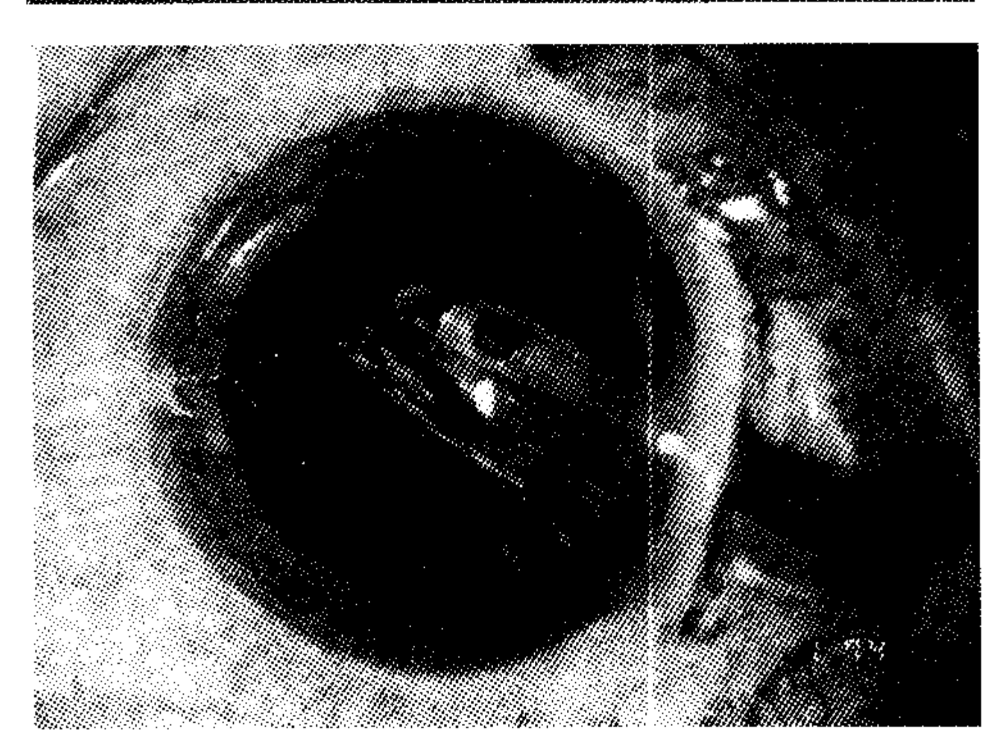
هارولد رِدلي

هو طبيب وجرّاح عيون بريطاني. ابتدع عام ١٩٤٩ عمليّة زرْع عدسة پلاستيكية لَدنة في عيْن مريض، بعد استخراج السّاد منها. وقد سَخر منه زملاؤه في ذلك الوقت. غير أنّه واصَلَ العمل بلا كلل أو ملل؛ واضعًا الأساس لجهود ملموسة في مجال تطوير العدسات المزروعة في العيْن، بذلها بعض تلاميذه، ومنهم پيتر جويس

وينكهورست. وفي ثمانينيات القرن الماضي، غَدَتْ زراعة العدسات في العين عملية شائعة وروتينية، مصاحبة لعملية استئصال السّاد أو العدسة المريضة.



الشكل (١-أ): عين مصابة بالساد «تكثف العدسة البلوريّة».



الشكل (١ ـ ب) : تكنولوجيا متقدّمة في جراحة الساد واستحلابه واستخراجه بواسطة جهاز الفاكو، الذي ابتدعه أصلاً شارل كلمان؛ علمًا بأن فكرة تفتيت العدسة المريضة أو الساد وشفطها من العين بدأها واشتغل بها الطبيب العربي المسلم عمار الموصلي في القرن العاشر الميلادي.

تصحيح البصر

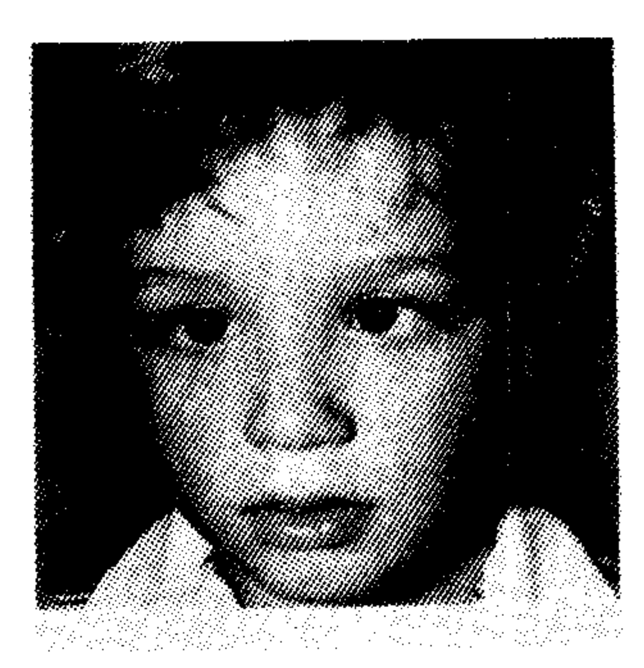
في بدايات القرن العشرين، كانت النّظّارة الوسيلة الوحيدة لتحسين الإبصار؛ تلتها العدسة اللاصقة بصيغتها البدائيّة. ولعلّ الذي أحدث التطور الملموس في هذا المضمار اكتشاف اللدائن المكوثرة في خمسينيات القرن. ومن أبرزها مادة الأكريل، التي تصنع من المخلّفات النفطية. وهي مادة صقيلة كالزجاج؛ لكنّها أشدّ قابليّة للنّحت والصقل والثّني والتكوير. من ناحية أخرى، فهي أخفّ من الزجاج، وأقلّ ميلاً للكسْر والتشظي. أضفْ إلى ذلك أنها أقلّ خطورة على الإنسان في حوادث الصَّدْم والرَّضّ؛ أو حين تتكسّر وتتشظّى.

النّظّارات الطّبيّة

تجدر الإشارة إلى أنّ العالم العربيّ المسلم الحسن بن الهيثم يُعَدُّ أوّل مُكتشف للعدسة في القرن العاشر الميلاديّ. وتشير المخطوطات إلى أن استخدام النّظّارات كان شائعًا في القرنيْن الثاني عشر والثالث عشر الميلاديين، لتصحيح مدّ البصر وحَسْره. وقد شهد القرن العشرون تطوّرات ملموسة في صناعة النظّارات الطبية، التي استخدمت لمعالجة طيْف واسع من اختلالات البصر ، الممتدّة من مدّ البصر وحَسْره إلى حَرَج البصر واللابُؤْريّة Astigmatism.

وأدخلت على عدسات النّظارات تحسيناتٌ كثيرة. فأصبحت أشدَّ صَقْلاً وأكثر قابليّة للانضغاط؛ ما جعلها صالحة لمعالجة الاختلالات الشديدة في البصر، من دون أن تكون مفرطة في الثّخانة أو ثقيلةَ الوزن. كما أصبح من الممكن طلاءُ سطحها بموادّ حافظة من الخَدْش والتَّغَيُّم؛ أو صناعتها من موادّ مانعة لانعكاس الضوء، فتبدو أنيقةً صافية. من ناحية أخرى، صُنعت عدسات ذات بؤرتين لتصحيح البصر من قريب ومن بعيد؛ وقد تظهر فواصل على سطحها الأماميّ، للدّلالة على أنّها تصلح للرؤية القَريبة والبعيدة في آن. كذلك، انتشرت عدساتٌ متعدّدة البؤر ذات وظائف مركّبة.

ويُمكن لعدسات النّظارات الطبية أن تصحّح بعض أنواع الحَوَل عند الأطفال؛ ومنها الحَوَل الإنسيّ التطابقيّ، الناجم عن مدّ البصر المتوسط أو الشّديد. و في حالة الحَوَل الإنسيّ النّاجم عن حسْر البصر الشّديد الولادي، تؤدّي عدساتُ النّظّارات إلى اختفاء الحَوَل، طالما يضع الطفل النظارات على عينيْه. كما يُمكن لتلك العدسات المساعدة في تصحيح الحَوَل الشّلَلي، الذي يسبّبه شَلَل عضلات العين، سواء كان حَوَلاً إنسيّا أو وحشيّا؛ أفقيّا أو عموديّا. وفي هذه الحالة، يشكو المريضُ من الشَّفْع أو ازدواج الرُّؤْية؛ فهو يرى الشيء اثنيْن. وقد يرتطم بالحواجز أو يسقط عن الدَّرَج؛ أو يعرّض نفسَهُ وغيرَه للخطر، إذا قاد سيارته وهو في هذه الحالة.



الشكل (٢ - أ) : طفل مصاب بالحول .



الشكل(٢ - ب) : بعد التصحيح بالنظارات اختفى الحول .

ويُصَحَّح الوضْع باستخدام عدسة موشوريّة تساعد العين في رؤية المنطقة التي لا تستطيع العينُ التّحرُّك في اتجاهها، نظرًا لقصور العين عن الحركة في جهة العضلة المصابة؛ فيزول الشَّفْع.

وفي القرن العشرين، أصبح الكثيرُ من حالات الحَوَل يُصَحَّح جراحيّـًا بواسطة عمليّات سهلة وشائعة.

وامتدّت عمليّات التحسين إلى إطار النّظارة. فاعتنت به مصانع البصريات ومؤسسات التجميل؛ ما أدّى إلى توافر أشكال هندسيّة جميلة من النّظّارات تلائم مختلف الأذواق. كما لُوّنت العدسات بألوان شتّى لحجز بعض الأشعة الشمسية. وطُليَت بمواد عاكسة، كَتلك التي تعالَجُ بها المرايا؛ فغدت لا تكشف عن عيني لابسها.

كذلك، صُنعت عدسات مقرابيّة (تلسكوبيّة) توصَف في حالات الإعاقة البصرية الشديدة؛ فتسهّل حركة المريض، وتحسّن بصره، وتجعله يرى صور الأشياء مكبّرة ومقرَّبة. والعدسة من هذا النّوع أنبوب بصريّ؛ في إحدى نهايتيْه عدسة عينيّة، وفي الأخرى عدسة شيئيّة، كما في المقراب (التلسكوب).

العَدَساتُ اللاصقَة

شاع استخدامُ العَدَسات اللاصقة، بدلاً من النّظّارات الطّبّيّة، لتصحيح اختلالات البصر. ويعود ذلك إلى بعض المشكلات المرتبطة باستخدام النّظّارات الطبية؛ منها ما يتعلق بتشويه شكل الوجه، أو التسبُّب في تشكُّل أثلام أو حزوز حمراء على جسْر الأنف وجداره؛ ومنها ثقل النظارة، وتسبُّبها في الصّداع والتوتر وتحديد مجال الرؤية. ولعلّ أبرز التطوّرات التي شهدها القرن العشرون في تصميم العدسات اللاصقة وتصنيعها تلك التي قادت إلى استخدام أنواع معينة من العدسات اللاصقة، أهمها:

العدسات اللاصقة اللدِنة

يُعَدّ اكتشاف مادة الأكريل (پولي مثيل ميثا كريليت)، التي يُرمز إليها اختصاراً بـ PMMA، عام ١٩٣٠ علامة بارزة في مجال تصنيع العدسات اللاصقة اللّدنة، التي انتشر استخدامها في الكثير من الآلات البصريّة والمعدّات الطبية. وقد استفاد المتخصّصون من التطور الذي طرأ في تلك الفترة في مجال صناعة قوالب الأسنان من موادّ لدنة؛ فصنعوا قوالب للعين. وكانوا يضعون على القالب طبقة من مادّة الأكريل، ثم يُحمّونها فتأخذ شكل القالب، ليُصار إلى قطعها وصقلها وتشذيبها.

واتّسمت العدسات اللاصقة من هذا النّوع بالصلابة وكبَر الحجم. وعابها نتيجة لذلك عدم توافر الإمكانية لاستخدامها فترات طويلة؛ فكان لا بُدَّ من نزعها من العين باستمرار، وتجديد السائل بينها وبين العين كُلّ ساعتين أو ثلاث ساعات.

العدسات اللاصقة القرنيّة

كان الأمريكيّ كيڤن تيوهي أوّل من استخدم هذا النوع من العدسات في مطلع خمسينيّات القرن الماضي. وكان استخدامها نقطة تحوُّل في تاريخ العدسات اللاصقة. فقد حلّت الكثير من المشكلات المرتبطة باستخدام العدسات اللاصقة اللّدنة، نظراً لسهولة تثبيتها وتداولها وإمكانية وضعها على العين فترات أطول بكثير؛ إضافة إلى سهولة صُنعها وقلّة تكلفتها. إلا أنّ صغرَ حجمها جعلها أقلّ اتّزانًا وأكثر سقوطًا من العين.

العدسات الأكسجينيّة

شهد الرُّبع الأخير من القرن المنصرم تطوُّرات هائلةً في مجال صناعة العدسات اللاصقة وتثبيتها، اشترك في إحداثها علماء الفيزياء والكيمياء والهندسة الحيويّة والفسلجة. وشملت تلك التطوُّرات استخدام مواد جديدة في صنع عدسات لاصقة ذات نفاذيّة للغازات، وتسمح بانتشار الأكسجين عبر نسيجها بنسب متفاوتة تعتمد

على المادّة التي تُصنع منها. ومن هذه العدسات ما يدخل في تركيبها السيليلوز وخلاّت الزُّبد التي تُخلط أحيانًا بالأكريل، والعدسات السيليكونيّة. ولعلّ أحدث ما صُنع من العدسات الأكسجينيّة تلك التي تصنع من مادّتي الفلور والفحم، وتُعرف بعدسات الفلوروكربون. وهي منفِّذة للأكسجين بدرجة عالية؛ وتتحمّل التغيرات المناخيّة، فلا تختلف مقاساتها بتغير درجات الحرارة أو الظروف الجوية الأخرى. وفي ستينيات القرن العشرين، ظهرت العدسات اللّيّنة المحبّة للماء Hydrophilic lenses ، التي تمتصّ الماء ليشكّل ما يتراوح بين ٣٨٪ و ٨٥٪ من وزنها؛ فتكتسب بذلك ليونةً وطراوة. وهي، إلى جانب ذلك، تسمح بانتشار الغازات والمحاليل خلالها؛ وتصنع بطرق مختلفة، منها النّحت بالمكائن والصّبّ في قوالب.

وقد انتشرت عدسات مختلفة الأغراض؛ فمنها ما هو علاجيّ، ومنها ما هو تجميليّ. كما تراوحت أحجامها من عدسات صغيرة جدًا إلى أخرى كبيرة، تغطي قرنيّة العين وبياضها.

العدسات المستهلَكة

يتطلب الاستخدام اليوميّ للعدسات اللاصقة عنايةً فائقةً فيما يتعلق بنظافة العدسة وخلوّها من الموادّ البروتينيّة المخاطيّة، التي تترسب على سطحها؛ فتُسبّب التهابات وقروحًا واحمراراً في العين. ومن المشكلات الأخرى التي يجدر ذكرها في هذا المقام تحسُّس العين من الموادّ المنظّفة، التي تحتوي عليها محاليل حفظ العدسات اللاصقة؛ وهو ما يجعل الشخص غير قادر على تحمُّل العدسة.

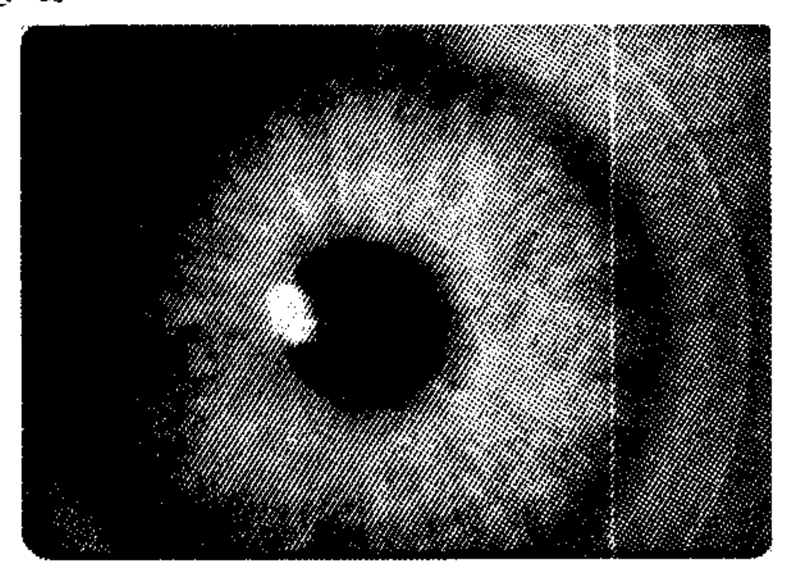
وقد صُنعت عدسات لاصقة رقيقة منفّذة للأكسجين، لطيفة على القرنيّة، يمكن استخدامها لمدّة أسبوع؛ ثم تُرمى وتستبدل بها أخرى جديدة. كما ابتُدعت عدسات مستهلكة تستخدم يومًا واحدًا فقط؛ وذلك لقطع دابر الاختلالات الناجمة عن استخدام العدسات اللاصقة.

العدسات التجميلية

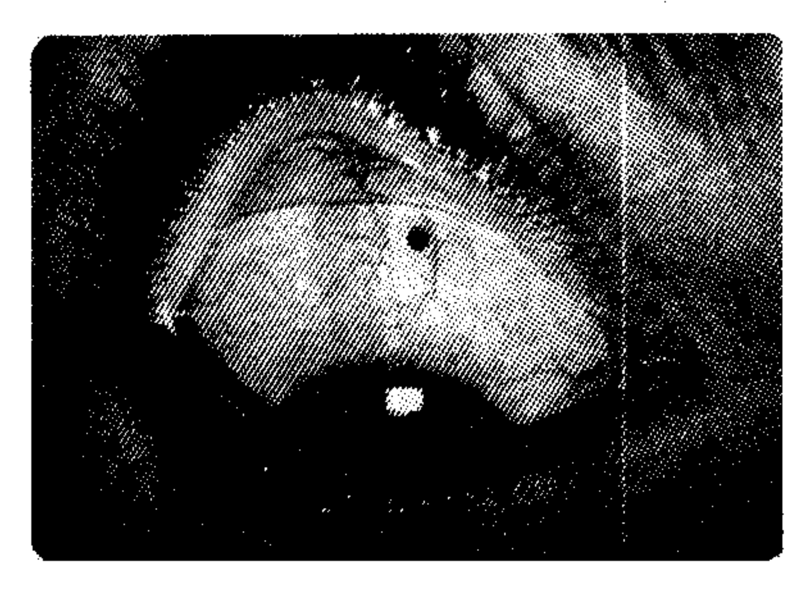
ثمّة عدسات بصريّة ملونة يستخدمها البعض للزّينة، ولتغيير لون عيونهم إلى الأخضر أو الأزرق. وقد يستخدمها آخرون لإخفاء عيب في العين، وجعل العين المشوّهة تبدو كالسليمة. كذلك، قد تكون العدسات التجميلية صُلبةً، أو ليّنة، أو منفّذة للأكسجين. ويتعين نزعها عند النوم وتنظيفها وتعقيمها يوميّاً.



الشكل (٣-أ): عدسة قرنية صُلبة.



الشكل (٣ـ ب): عدسة لاصقة لينة في العين.



الشكل (٣ ـ ج): عدسة صلبة كبيرة تغطي كل العين .

الشكل (٣): أنواع العدسات اللاصقة .

الاختلالات التي تُصحَّح باستخدام العدسات اللاّصقة

تستخدم العدسات اللاصقة لتصحيح الكثير من اختلالات البصر؛ لعلّ أبرزها:

حسْر البصر الشديد

إذا عُولج هذا الخلل باستخدام النّظّارات الطبية، فإنّ عدساتها تكون سميكة ومقعّرة، وتشوّه شكل الوجه لأنها تصغّر العينين. كما تصغّر صور الأجسام المرئيّة، وتحدّد مجال الرُّؤية لما يصاحب استخدامها من آثار موشوريّة؛ فلا تكون الرؤية جيّدة إلا عند مركز العدسة. من ناحية أخرى، لا يتمكّن مستخدم النّظارة المصاب بهذا العيب البصريّ من تحريك عينيه، إلا أن يحرّك رأسه. أضف إلى ذلك أنّ كُلّ حركة تعني اضطرابًا في الرؤية وتشوُّهًا في الصّورة.

أما العدسات اللاصقة، فتصحّح بكفاءة عالية حسْر البصر الشّديد النّاجم عن فرط في طول المحور الأمامي-الخلفيّ للعين Axial myopia، وحسر البصر النّاتج عن فرط تحدُّب قرنيّة العين Curvature myopia؛ فتُحسّن الرؤية كثيرًا في مثل هذه الحالات. وقد وُجد أنّ استخدام العدسات اللاصقة من جانب الأطفال، الذين يعانون من حسْر البصر الشديد، يمنع ظهور الحَوَل الوحشيّ، ويؤدي إلى استعادة الرؤية المتكاملة بالعينين معًا Single binocular vision. ويرى مختصّون أن استخدام العدسات اللاصقة في سنّ مبكرة من شأنه أن يوقفَ التّردّي المستمر في حسْر البصر؛ خاصّة إذا كان شديداً.

مَدّ البَصَر الشّديد

تمتلك النّظارات الطبية المستخدمة في تصحيح هذا الخَلَل عدسات محدّبة سميكة جدًا؛ خاصّة في مركزها. وتبدو من خلفها العينُ كبيرةً، والأشياء مكبّرة ومحدَّبة السطوح. وكثيراً ما تتسبّب في صُداع وتوتُّر، وتُحدث أثلامًا وحزوزًا حمراء على جسر الأنف وجداره. أما العدسات اللاصقة، التي يُنصَح باستخدامها لعلاج هذا

العيب البصريّ، فتجعل مستخدمها يستعيد شكل وجهه الطبيعيّ وبصره؛ دونما ثقلٍ، أو تشوهٌ، أو تضيّق في مجال الرؤية، أو تحديدٍ في حركات العينين.

تبايُن الانكسار في العينَيْن

حين يكون هنالك فرق كبير بين قوة الانكسار في العينين، فذلك يعني صعوبة التحام الصورتين المرئيتين بالعينين في الدّماغ. ففي بعض الحالات، ترى إحدى العينين صورة طبيعية للجسم المرئيّ؛ في حين تكون العين الأخرى مصابة بحسْر بصر شديد، فترى الجسم مصغّرًا جدًا، يصعب التحام الصورتين معًا في الدّماغ في صورة صافيةٍ واحدة، ويحدث التشويش البصريّ المسمّى الشفع أو ازدواج الرّؤية.

وفي حالات أخرى، تكون إحدى العينين طبيعية والأخرى مصابةً بمدّ بصر شديد؛ فترى الأشياء مكبّرة كثيرًا. عندها، يحدث التشوّه البصريّ المصحوب بالزّيغ أو ازدواج الرّؤية؛ إضافةً إلى الصداع والإجهاد.

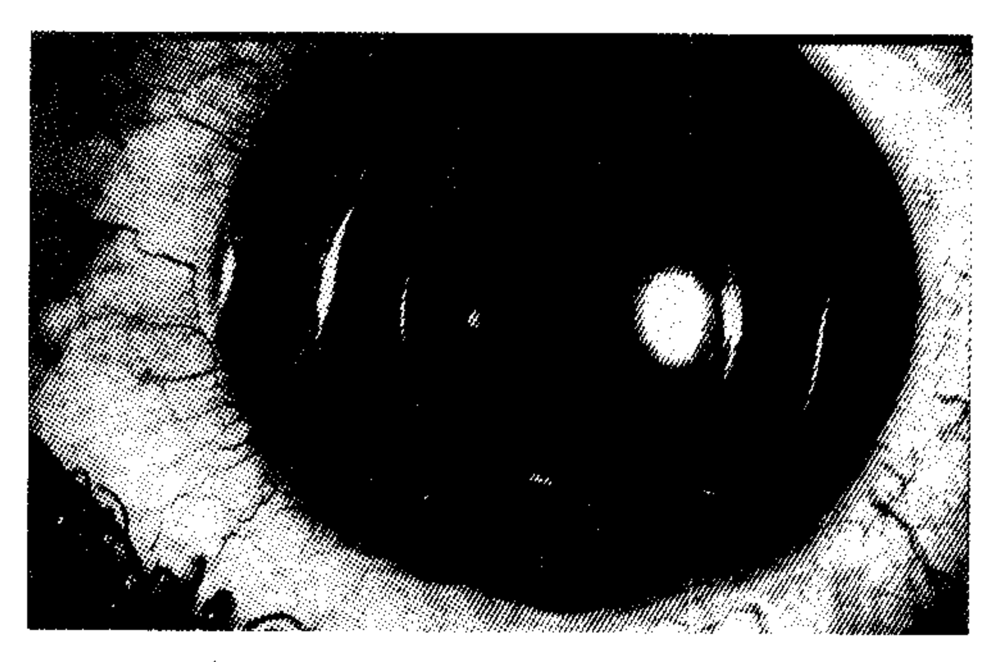
وإذا كان المصاب طفلاً لم يُصَحَّحْ بصره، أدّى ذلك إلى كسل بصريّ في العين المصابة بسوء الانكسار الشديد؛ وبدا الأمر وكأنّ الدماغ يستثني تلك العين من ذاكرته. فلا يعود يستقبل الأخيلة الواردة منها؛ الأمر الذي يصيبها بالعمى الوظيفيّ.

وتعالج العدسات اللاصقة هذا العيب عبر تقليل الفروق في الحجم بين الصورتين المرئيتين بالعينين السليمة والمصابة؛ لأنها أقل تكبيرًا حين تكون مقرِّبة، وأقلّ تصغيرًا حين تكون مُبْعِدة.

العين اللاعَدَسيّة

العين اللاعدسيّة تسمية تُطلق على عيْن فقدت عدستها البلوريّة، بسبب استخراج السّاد منها، أو انقلاع العدسة، أو انزياحها خلف الحدقة. وفي هذه الحالات، يعتمد الانكسار على القرنية فقط؛ فتتّسم العين بالضعف البصريّ الشديد، وتصاب بمدّ البصر.

ويمكن استخدام النظارات الطبية، لتستعيد العين قدرتها على تقريب صور الأجسام المرئية من شبكيتها؛ وتكون عدسات تلك النظارات سميكة ومقرِّبة. ويُعاني مستخدمها من ثقل النّظّارات، وضيق مجال الرؤية؛ إلى جانب رؤية الأشياء مضخَّمة. أضف إلى ذلك بشاعة شكل الوجه خلف تلك العدسات؛ خاصّة عندما تكون للشخص عينان لاعدسيّتان. أما عندما تكون ثمّة عين واحدة لاعدسية، فعندئذ تستحيل الرؤية بالعينين معًا، نظرًا للتباين الشديد في قوة الانكسار بين العينين السليمة واللاعدسية.



الشكل (٤): عدسة مصححة لسوء الانكسار، مزروعة في البيت الأمامي.

وفي أيّامنا هذه، تُصحَّح حالة العين اللاعدسية باستخدام العدسات اللاصقة، لتجنب المشكلات المرتبطة باستخدام النّظّارات. ومن الطرق الأخرى المستخدَمة في علاج هذا الخلل البصريّ زرع العدسات المصحِّحة جراحيًا؛ فقد تُزرع عدسة على

القزحيّة تثبَّت جراحيًا في محيطها بواسطة كلاّبتيْن، أو تُزرع عدسة في السّدى القرنيّ العينيّ.

وثمّة وسائل جراحيّة تُستخدم لتصحيح البصر، من خلال معالجة سوء الانكسار. ومنها نذكر: الإبادة الضوئية بليزر إكسايمر؛ وقطع القرنيّة المصحوب بالإبادة الضوئية بليزر إكسايمر؛ وعلاج القرنية بالليزر الحراري لتصحيح مدّ البصر؛ وزرع حلقة لدنة في محيط القرنيّة؛ وحقن مادّة جيلاتينيّة في نسيج القرنيّة بشكلٍ حلقيّ؛ وزرع العدسات.

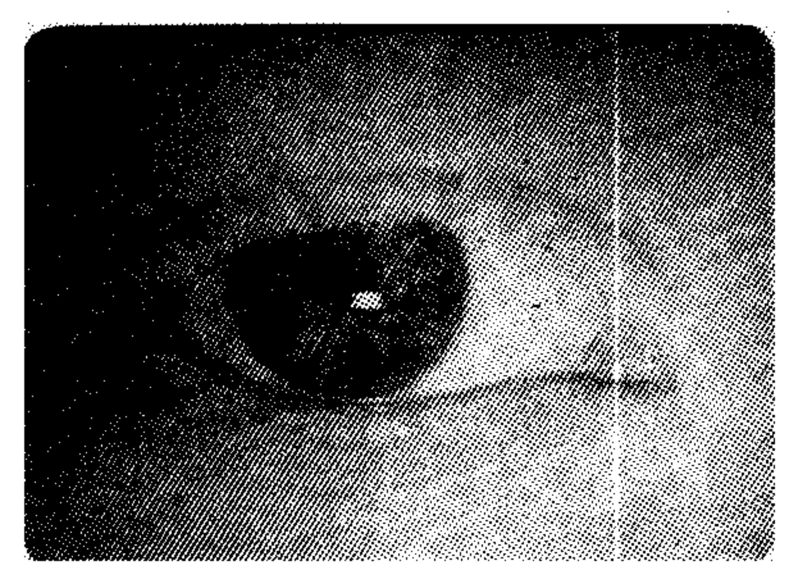


أ ـ طفل مصاب بالحول، وتوسع شديد في الحدقة، ونقص ولادي في القزحية.

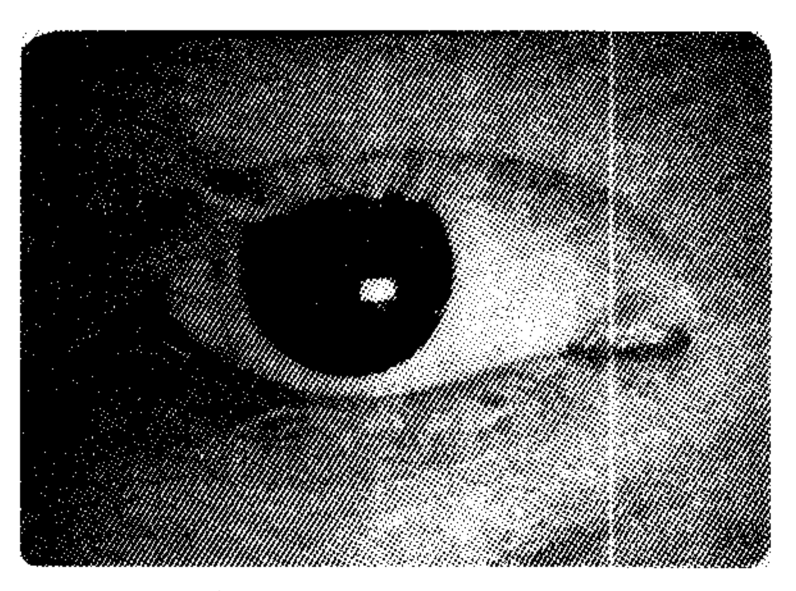


ب ـ بعد وضع العدسات اللاصقة الملونة، اختفى الحول، وصغر البؤبؤ ، واستقام البصر ، ولم يعد وهج الضوء يؤذي العين .

الشكل (٥) : عدسات تجميلية ملونة ومبصرة .



الشكل (٦-أ) : عين مصابة بالبرص. ويبدو البؤبؤ أحمر؛
والمريض يشكو ضعف البصر ورُهاب الضوء.



الشكل (٦-ب): صحّحت العين بعدسة لاصقة ملونة مبصرة؛ فأصبح انعكاس البؤبؤ بلون
أسود ،واختفى إزعاج الوهج الضوئي.



الشكل (٧ - أ): العين اليسرى مصابة بالحول وكثافة في القرنية؛ مع بروز ملحوظ في العين. وهي فاقدة للرؤية كُلّيًا.



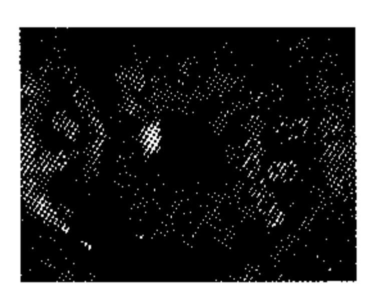
الشكل (٧ - ب): غطيت العين بعدسة لاصقة تجميلية ملونة؛ وبالطبع غير مبصرة .

اللّيزر والطّبّ

يُعَد توليد أشعة الليزر واستخدامها في ميادينَ حسّاسة، كالصّناعة والحرب والطّبّ؛ فتحًا علميًا بارزًا. وتنجم طاقة الليزر عن إطلاق حُزم شعاعيّة قويّة متجانسة ذات أطوال موجيّة منتظمة؛ تتراوح من موجات قصيرة ، ضمن طيف الموجات فوق البنفسجية (١٩٣ نانومترًا)؛ إلى أخرى متوسطة الطول، ضمن موجات الضوء المرئيّ (٤٠٠-٨٠٠ نانومتر)؛ إلى موجات طويلة، ضمن طيف الموجات تحت الحمراء (١٠ آلاف نانو متر) . وتختلف أشعة الليزر عن الأشعة الضوئية العاديّة في أنّ الحزمة الضوئية لأشعة الليزر متماسكة ومتوازية ومتجانسة. أما في الأشعة الضوئية العاديّة، فتتبعثر الأشعة الجانبية، وتبتعد عن موازاة الأشعة المركزيّة.

كان ميمان أوّل من ولّد أشعّة ليزر، مستخدمًا حجر الياقوت الصناعيّ عام ١٩٦٠ . وكانت الموجات من الضوء الأحمر المتجانس بطول ٦٩٤,٣ نانومتر. وبيّنت التجارب التي أجريت عام ١٩٦١ على عيون الحيوانات أنّه يمكن الاستفادة من أشعة الليزر في التخثير الضوئيّ. وفي عام ١٩٦٢ ، بدأ استخدام ليزر الياقوت في علاج أمراض العين، التي تتطلّب تخثيرًا ضوئيًا للجروح والثقوب والأوعية الدّموية النّازفة. وصُنعت أجهزة مختلفة لتوليد أشعة الليزر. وفي أيّامنا هذه، تكثر أجهزة الليزر التي تستخدم موادّ مختلفة لإطلاق موجات ذات أطوال مختلفة؛ ومن ثمّ طيف واسع من الألوان.

يؤدي شعاع الليزر أغراضًا طبية شتّى: من حرق وكيّ وتخثير وقطع وتحوير وتبخير واجتثاث وتبديد؛ إضافة إلى التشخيص والتصوير والتهديف. والجدير بالذكر أنّ أشعة الليزر هي أقرب إلى الأشعة الضوئية العاديّة؛ فهي ليست كالأشعة السينيّة أو الكونيّة أو أشعة غاما الخطرة. إنّ أشعة الليزر أشعة غير مؤيّنة؛ ولا يُخشى من الإصابة بالسّرطان جرّاء التعرُّض لها. غير أنّها قد تؤذي الشبكية أو أجزاء العين الأخرى، إذا وُجّهت إلى العين مباشرة، وبصورة خاطئة، من دون قصد المعالجة.



الشكل (٨) : تصحيح مد البصر بالليزر الحراري.
الدوائر البيضاء الصغيرة تمثل الحروق الكاوية التي أحدثها الليزر في المناطق المحيطية من القرنية، من دون أن يمس المناطق المركزية منها.

الليزر في طبّ العيون

كانت أمراض العين أوّلَ ما عولج من الأمراض بالليزر عام ١٩٦٢ . فقد استُخدم ليزر الياقوت في تخثير العروق الدموية النّازفة، ورتق جروح الشبكية وثقوبها؛ وذلك لما تتمتع به العين من قدرة على تجميع الأشعة في بُؤَر حارقة واضحة على الشبكية. والجدير بالذّكر أنّ جراحة الليزر جراحة ناجعة وآمنة في آن. وهي، إلى جانب ذلك، أسرع وأقلّ تكلفة إذا قورنت بالجراحات التقليدية؛ إضافة إلى أنّ بإمكان أشعّة الليزر الوصول إلى أجزاء من العين لا يمكن بلوغها بالوسائل الجراحية الأخرى. ولا حاجة هنا إلى تأكيد أنّ العلاج يكون أكثر نجاعة وفاعليّة إذا كان في وقت مبكّر من اكتشاف المرض.

وثمّة جوانب متعدّدة للعلاج بالليزر؛ منها: كيُّ العروق الدموية وتخثيرها؛ وقطع الأغشية؛ وإزالة التليُّفات؛ والحرق والتبخير. ومن المهمّ الإشارة إلى المزايا الأساسية الآتية عند الحديث عن العلاج بالليزر:

- النّجاعة والفاعليّة عندما تعجز الوسائل الأخرى؛
- قلّة النّزف، وسرعة التئام الجروح؛
- عدم حدوث التهابات ثانوية؛

❖ توفير الوقت والمال؛

❖ عدم الحاجة إلى تخديرٍ عام، أو فترة نقاهة، أو إقامة في المستشفى.

التّخثير الضوئيّ Photocoagulation

تُطلق أشعّة الليزر حرارةً عند تبئيرها في نقطة على الشبكية؛ فتكوي العروق الدموية وتخثرها، وترتق الجروح والثقوب فتلحمها وتسدّها. كما يمكن استخدامها في إحداث ثقب في القزحيّة الواقعة في مقدّمة العين. والجدير بالذّكر أنّ لكلّ لون من ألوان أشعة الليزر أنسجة معيّنة في العين تتأثر به؛ إذْ يحدّد طول موجة شعاع الليزر المنطقة التي يجب أن تُعالج به في العين.

وفي التخثير الضوئي، يُستخدم ليزر الآرغون الذي يولّد ضوءاً أزرق بطول موجيّ مقداره ٤٨٨ نانومتراً، أو ضوءاً أخضر بطول موجيّ مقداره ٥١٤ نانومتراً. ويخثّر الشعاع الأخضر العروق الدّمويّة في المناطق المركزيّة من الشبكية، القريبة من اللطخة الصفراء. ولأنّه ذو طول موجيّ أكبر، فهو أعمق أثراً، ولا يوذي الصّباغ الأصفر الذي تحتوي عليه الخلايا المركزية للشبكية في منطقة اللّطخة الصّفراء، المسؤولة عن حدّة البصر. أمّا الشعاع الأزرق، فيعالج المناطق المحيطية من الشبكية؛ إذ يُمتصّ من الطّبقة الظهاريّة الصبّاغيّة في الشبكية. فيُطلق حرارةً تؤدّي إلى تكوُّن بقعٍ صغيرة مبعثرة على سطح الشبكية، على شكلٍ أشبه ما يكون بالوشم.

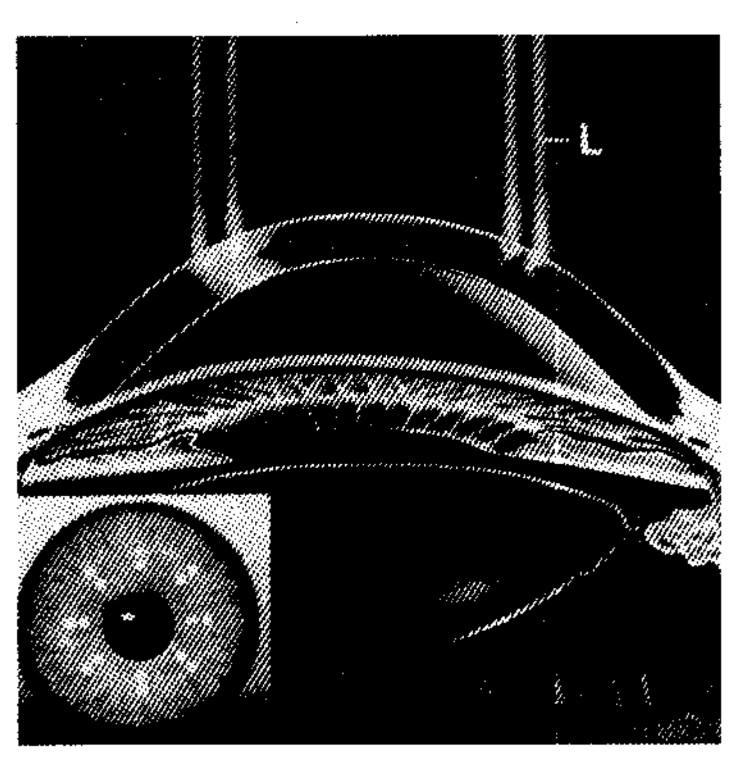
أما ليزر الكريبتون، فيولد شعاعًا أحمر بطول موجيّ يبلغ ٦٤٧ نانومتراً. وهذا الشعاع لا يُمتصُّ من الدّم؛ ويصل إلى الطبقة الصباغيّة الأكثر عمقًا في الشبكية؛ ليُمتصَّ هناك، مطلقًا حرارة ترقأ مواضع النزف فيها.

كما يُستخدم في التخثير الليزر الكهربائي؛ وهو ليزر صُلب لا يُستخدم فيه أيٌّ من الغازات التي تُستخدم لتوليد ضوء الليزر. ويُطلق موجاتٍ طويلةً تحت حمراء بطولٍ موجيّ مقداره ٨١٠ نانومترات.

أمراض العين التي تعالَج بالليزر

يُستخدم الليزر في علاج الكثير من أمراض العين، وتصحيح اختلالات البصر. ومن تلك الأمراض: اعتلال الشبكية الناجم عن الإصابة بمرض السُّكّري؛ وانسداد الوريد المركزي في الشبكية؛ وتمزُّق الشبكية أو حدوث ثقوب فيها؛ و تنشُّؤات العروق الدموية في المشيميّة؛ وتنكُّس اللطخة الصفراء؛ وتليُّف منطقة البؤبؤ؛ وأورام العين؛ وداء الزّرق؛ واستئصال السّاد. أضف إلى ذلك استخدام الليزر في إجراء الجراحة التجميلية للعين، وتصحيح اختلالات الانكسار.

وسنتناول كيفيّة علاج بعض هذه الأمراض والاختلالات بشيء من التفصيل في الجزء التالي من هذه الدّراسة.



الشكل (٩): رسم يبين كيفية تصحيح الليزر الحراري لمد البصر.

علاج اعتلال الشبكية الناجم عن الإصابة بمرض السُّكَّري

حين يُصاب شخص بهذا الاعتلال، يحدث خلل يصيب جُدُر العروق الدموية في الشبكية من شرايين وأوردة وشعيرات؛ فتحدث توسُّعات في هيئة أمّهات دم تبدو على شكل نقط نزفيّة، وحين تنفجر فإنّها تكوّن بُقعًا نزفيّة. وتخرج محتويات المصورة الدموية من الدّهون، مسبّبة ارتشاحات دهنيّة. ويؤدي انسداد العروق الدموية، وعجزها عن إيصال الغذاء عبر الدّم، إلى فقر دم في نسيج شبكية العين. وهذا من شأنه أن يحثّ على إطلاق مواد كيميائية تعمل على توليد عروق دموية جديدة، تنتشر على سطح الشبكية في المناطق الطرفية للعروق الدموية المنسدّة، وتبرز على سطح قرص العصب البصريّ. ونظراً لهشاشة جُدُر العروق الدموية الجديدة، فإنّها تُحدث نزوفًا دموية متكررة على سطح الشبكية قد تُمتص؛ فتنسلّ إلى داخل العين، لتشكّل غشاءً فوق الشبكية. من ناحية أخرى، قد ينجم عن ذلك حدوث نزوف صاعقة في المائع الزجاجي، تخطف البصر بصورة مفاجئة. ومن المضاعفات الأخرى الممكنة في هذه الحالة: اعتلال الشبكية التكاثري، الذي يكون في هيئة عروق دموية؛ ونزوف وتليُّفات تؤذي الشبكية؛ إضافة إلى اختلالات أشدّ خطورة، مثل انفصال الشبكية وضياع البصر. ويُعدّ الليزر علاجًا ناجعًا لهذا الاعتلال وما قد ينجم عنه من مضاعفات؛ إذ يزيل البقع النّزفيّة، والارتشاحات الدهنية، والعروق الدموية الهشة، وما يرافقها من نزوف وتليُّفات.

استخراج السّاد بطريقة الاستحلاب الضوئيّ Photophacoemulsification

يرجع الفضل في استخراج السّاد باستحلاب العدسة إلى جرّاح العين المبدع شارل كلمان. وفي بادئ الأمر، كان ذلك يُجرى باستخدام الموجات فوق الصوتيّة. إلا أنّ الصّدمات الاهتزازيّة المصاحبة ذات تأثير سلبيّ في بطانة القرنيّة، والمحفظة الخلفية، والقزحية. من هُنا، أدخلت جراحة استئصال السّاد بالاستحلاب والتبخير باستخدام الليزر. ولا بُدّ من الإشارة إلى مزايا التقنية المذكورة، التي تتمثل في قلّة حرج البصر النّاجم عن خياطة الجرح، بعد استخراج السّاد؛ وقصر فترة النّقاهة، بعد الخضوع

للعملية؛ وصغَر الجرح المتكوّن جرّاء العملية .

لقد نشر تروكل وآخرون عام ١٩٨٣ تقريراً حول استخدام الليزر القاطع، الذي يولّد موجات فوق بنفسجية بطول موجيّ مقداره ١٩٣ نانومتراً في جراحة العين. وتَلَتْ نشر ذلك التقرير بحوث عدّة، وجُرّبت الأشعة على السّاد العينيّ؛ فاتّضح أنّ أشعة الليزر تُبيد السّاد من دون أن يكون ذلك مصحوبًا بحدوث تفحُّم. وقام ماغوين ورفاقه بتبديد ٨ عدسات بلّورية مصابة بالسّاد، باستخدام ليزر يولد أشعة بطول موجيّ مقداره ٣٠٨ نانومترات، تُمَرَّر من ليف ضوئي قطره ٦٠٠ ميكرون. وبيّنت التّجارب أنّ تبديد السّاد الواحد يتطلب طاقة تتراوح بين ٣٥ و٦٣ جولاً، عندما تكون المسافة الفاصلة بين اللّيف الضوئي والنسيج المراد تبديده ملمتراً واحداً.

ومن بين العلماء الذين كان لهم دور في إجراء التجارب المتعلقة بجراحة السّاد: تسوبوتا، الذي أوضح قدرة الليزر النابض على تبديد عدسة مقتلعة حديثًا من عين أرنب.

واليوم أصبحت جراحة السّاد بالليزر شائعة الاستخدام. وامتدّت لتشمل تطبيقات واسعة؛ منها: تقطيع السّاد؛ وقطع الخيوط القرنيّة أو الحوفيّة؛ وقطع المحفظة الخلفية؛ وتبديد السّاد؛ واستقصاء وظائف الشبكيةَ.

استخدام الليزر في علاج داء الزّرق Glaucoma

يتضمّن علاج الزّرق بالليزر قطع الصّلبة بالليزر؛ إذ تُقطع من داخل العين من دون إدخال أدوات فيها. وفي العادة، تطلق أشعة الليزر على شكل نبضات للتقليل من الآثار الجانبية المحتملة. وفي حالات أخرى، تقطع الصّلبة بالليزر من خارج العين، بعد إحداث سديلة في الملتحمة.

وقد تُثقب القزحيّة بالليزر لعلاج الزّرق الحادّ. وهُنا يُستخدم ليزر قاطع ومبدّد، وليزر كاوٍ ومخثّر.

الليزر وعلاج أورام العين

تشتمل أورام العين المعالَجة بالليزر على أورام الشبكيّة، وأورام المشيميّة، وأورام العروق الدموية في الشبكية.

وتعالج بالليزر أورام العين الخبيثة الصغيرة الحجم؛ مثل: أورام المشيميّة، وورم أرومة الشبكية؛ وكذلك الأورام الحميدة المسبّبة للأمراض، مثل الأمراض الوحميّة في المشيمية.

وليس ثمّة خطورة تنجم عن معالجة الأورام الداخلية في العين باستخدام الليزر. إلا أنّه قد تحدث أحيانًا نزوف في الجسم الزجاجي، وتليُّفات تؤدي إلى التصاق الشبكية بالمائع الزجاجيّ؛ كما قد تنمو عروق دمويّة على سطح الشبكية.

من ناحية أخرى، يمكن الاستفادة من أشعّة الليزر بوصفها علاجًا داعمًا لإبادة بقايا الأورام، التي سبق أن خضعت للمعالجة الشعاعية.

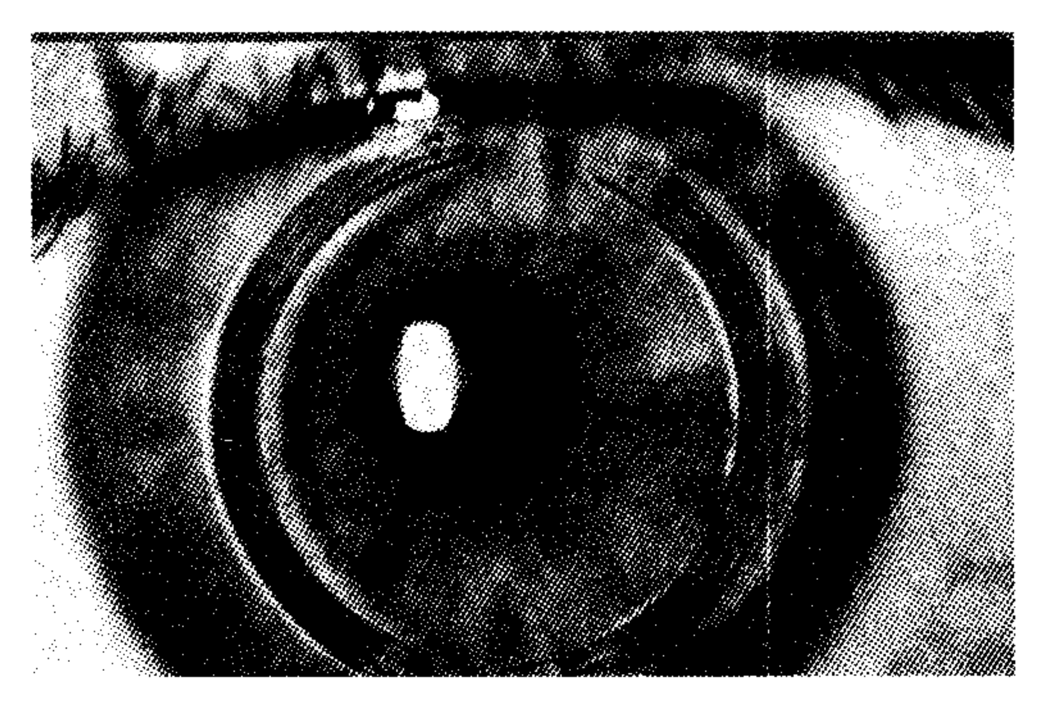
جراحة القرنيّة بالليزر

كانت أمراض العين التي بدأ الأطبّاء علاجها بالليزر عام ١٩٦٣ هي أمراض الشبكية. وفي السنوات المتبقّية من القرن العشرين، سخّر الأطباء بحوثهم وجهودهم لعلاج كلّ أنسجة العين، واستقصاء أمراضها، وقياس وظائفها. فكان أن نقلوا العلاج من القسم الخلفي في أعماق العين، حيثُ الشبكية؛ إلى القسم الأمامي للعين، حيث توجد العدسة والقرنيّة. ومن الفتوحات التي يُشار إليها بالبنان في مجال علاج العين بالليزر: جراحة تصحيح اختلالات الانكسار باستخدام تقنية التبديد الضوئي Photoablation بالليزر المسمّى ليزر إكسايمر Excited Dimer = Excimer، الذي يمكنه نحت شكل عدسة من قرنية العين من دون أن يُخرج أيَّ نسيج منها. ويوصف هذا الليزر بأنّه سكّين قاطعة ناحتة خفيّة تتخلّص من بعض نسيج القرنيّة بالتكسير الكيميائيّ الضوئي، الذي يفكّك الربط بين الجزئيات ويبخّرها. وفي تقنية ليزر إكسايمر، تسخّر أشعة ليزر ذات أطوال موجيّة تتراوح بين ١٩٣ نانومتراً، تُولّد باستخدام مزيج من

غازَي الآرغون والفلور؛ و ٣٥١ نانومتراً ، يُحصل عليها باستخدام مزيج من غازَي الزينون والفلور. وكان تروكل أوّل من أجرى عملية لإبادة ضوئية على قرنيّات عيون العجول عام ١٩٨٣ . وقد لاحظ اختفاء أجزاء صغيرة من القرنيّة مع كل نبضة ليزر تسلّط عليها. وأثبتت التّجارب أن الليزر المولّد لأشعة ذات طول موجيّ مقداره ١٩٣ نانومترًا هو الأقلّ إحداثًا للأذيات الجانبيّة. واللافت للنّظر الدّقة والرّشاقة اللّتان تُجرى بهما إبادة الطبقات السطحية، التي تخضع للقياس والمعايرة.

وفي عام ١٩٩٠، بيّن زيلر أنّ الإبادة التي يُحدثها الليزر في القرنية ما هي إلاّ تحوير للنسيج القرنيّ، عبر تفكيك الروابط بين ذرّات الكربون؛ ما يؤدي إلى تبخُّر النسيج على شكل غاز. ونظرًا لأنّ نبضة الليزر قصيرة جداً لا يتعدى طولها خمسين نانوثانية، ولأنّ نفاذها في الأنسجة لا يتجاوز ٣ ميكرونات، فإن الحرارة المنقولة بواسطتها تكون من الضآلة بحيث لا تؤذي الأنسجة المجاورة للجرح بمسافة أبعد مما يتراوح بين ٠,٣ و٠,٥ ميكرون. لذلك، فإنّه لا يُخشى على القرنيّة من التلف أو عدم الاتّزان بعد معالجة اختلالات الانكسار؛ مثلما يحدث في عمليات القطع الشعاعيّ للقرنيّة Radial keratectomy. وعليه، فإنّ من الممكن إجراء تحويرٍ في انحناء القرنية الأماميّ باستخدام ليزر إكسايمر لتغيير قوّة انكسارها.

ولتصحيح حسر البصر، يُسطّح القسم المركزيّ المحدّب من القرنيّة؛ فينحت الليزر كمية معينة من نسيج القرنية على شكل قرصٍ مركزيّ.

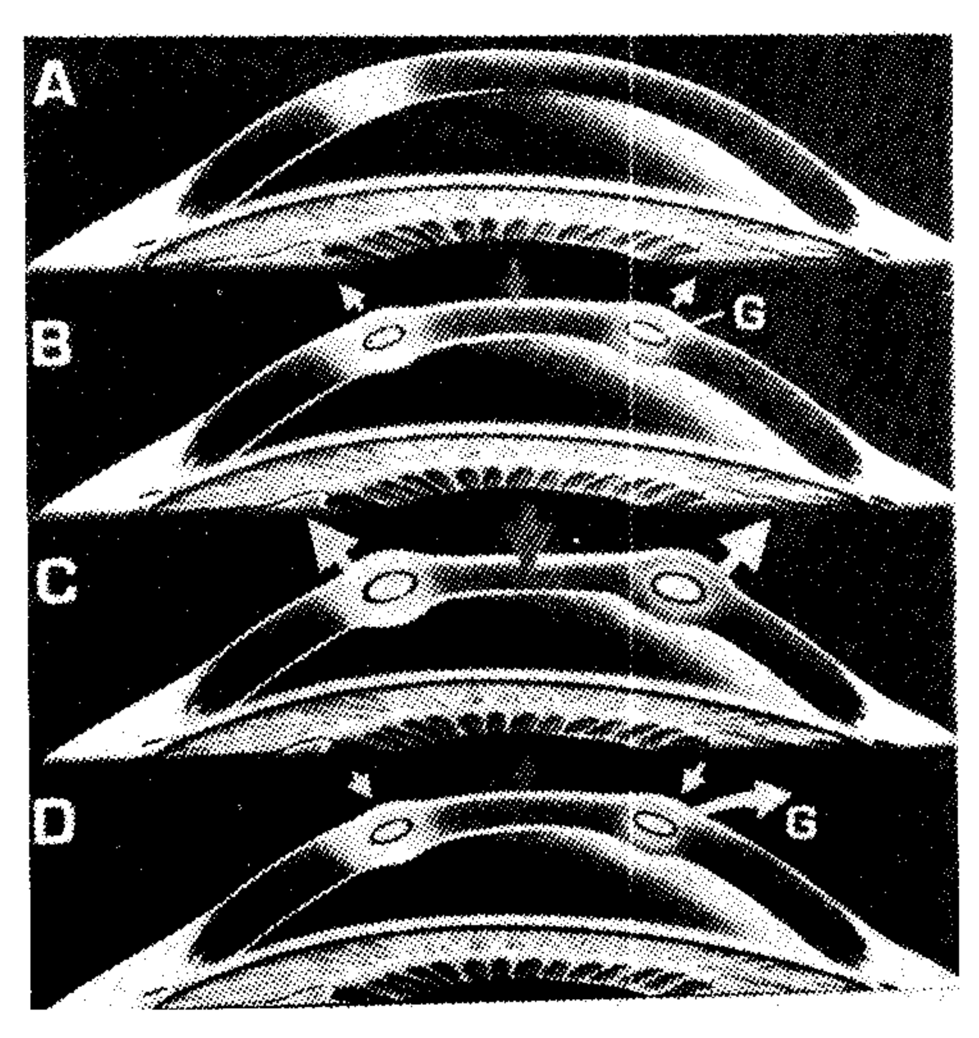


الشكل (١٠) : زرع حلقة بلاستيكية لدنة في محيط القرنية :
يُسطِّح انحناء القرنية، فيعالج قصر البصر.

أما في حالة تصحيح مدّ البصر، فيُزاد تحدُّب القسم المركزيّ من القرنيّة؛ فينحت الليزر نسيج القرنية على النحو المطلوب. وتجدر الإشارة إلى أن الليزر في جميع الحالات يجب أن يكون معايَراً بدقة بالغة، وأن يكون إطلاقه للأشعة دقيقًا ومنتظمًا.

فقبل الشُّروع في المعالجة، يُلقَّن الحاسوب الملحق بجهاز الليزر المواصفات والقياسات الصحيحة؛ واسم المريض؛ وجهة العين المراد تصحيحها؛ ودرجة حسر البصر، وما يرافقه من حرج البصر؛ ومقدار قوّة الانكسار للقرنية، مقدّراً بالكسيرات Diopters؛ وقطر الدائرة المركزية للقرنية، المراد إجراء التصحيح عليها؛ والمنطقة التي يجب أن ينتهي التصحيح بها. وبناءً على ذلك، يحسب الحاسوب كمية الأشعة اللازم إطلاقها من جهاز الليزر، والزمن الذي سيستغرقه تصحيح حسر البصر أو مدّه أو حرجه.

وهُنا لا بُدّ من التّنبيه على أنّه حين تبدأ المعالجةُ، لا مجال لتعديل أيّ من العيارات أو القياسات التي أدخلت إلى ذاكرة الحاسوب، ولا سلطة للجرّاح في تعديل قوّة الأشعة أو فترة إطلاقها؛ بعكس ما هو مألوف في أجهزة الليزر الأخرى التي تعالج بها أمراض العين المختلفة.



الشكل (١١) : رسم يبين كيف نَقَصَ تحدب القرنية، بعد زرع الحلقة البلاستيكية في محيط القرنية.

قطع القرنيّة بالليزر لتصحيح اختلالات الانكسار

Photo-Refractive Keratectomy (PRK)

قبل إجراء هذه العمليّة، يجب فحص العين فحصًا دقيقًا للوقوف على درجة التصحيح المطلوبة؛ والتأكد من عدم وجود التهابات في العين، أو تقرّحات في القرنيّة، أو ارتفاع في ضغط العين، أو إصابتها بالزّرق أو السّاد. وإذا وُجد أيّ من هذه الأمراض، وجب علاجُه أوّلاً قبل إجراء التصحيح بأشعة الليزر. من ناحية أخرى، يجب إجراء التصوير الطبقيّ للعين للوقوف على نمط الانحرافات فيها؛ فإذا بيّن التصوير وجود حَرَج بصرٍ غير منتظم، فلا يُجرى مثل هذه العملية لأنّ إجراءها عندئذ يزيد الوضع سوءًا.

والجدير بالذّكر أنّ عمليّة تصحيح الانكسار لا تتطلب أكثر من تخدير سطحيّ موضعيّ للعين باستخدام قطرات مخدّرة. بعدها، يستلقي المريض على طاولة العمليات ورأسه ثابت وفي وضع مُسْتَوٍ. ولا بدّ من ثبات عينه في أثناء المعالجة، بتركيزها على هدف ضوئيّ في جهاز الليزرِ بمراقبة من الجرّاح. وتزاح الطبقة الظهارية عن قرص مركزي قطره بين ٧ و ٨ مليمترات بآلة معدنية غير حادّة؛ أو تنزع باستخدام الكحول ذي التركيز ٢٠٪ ؛ أو تزاح بواسطة فرشاة صغيرة تدور ذاتيًا، فتسحج الطبقة الظهارية بشكل منتظم. بعد ذلك، يركّز ضوء الليزر على نقطة انتصاف البؤبؤ، ويكون سطح القرنية جافًا، ويمكن ترطيبه بمادّة لزجة؛ ثم يبدأ إطلاق أشعة الليزر المبدّدة لنسيج القرنية. وتستغرق العملية بين ١٠ ثوان و٦٠ ثانية، وفق كمية النسيج المطلوب تبديده، تبعًا لدرجة اختلال الانكسار.

وبعد العملية، لا ضرورة للبقاء في المستشفى؛ ولا حتى لتضميد العين. ويُكتفى بوضع عدسة ليليّة على العين، ريثما يندمل سطح القرنية ويتغطى كله بالغشاء الظهاريّ. وتعالج العين بقطراتٍ من مادة مانعة لنموّ الجراثيم ومضادة للالتهابات، مثل الستيروئيدات.

تصحيح البصر مع تحوير سطح القرنية (الليزك)

Laser In-situ Keratomilusis (LASIK)

في هذه العملية، يُصحّح البصر بتسليط أشعة الليزر على الطبقات العميقة من القرنية، بعد قطع سديلة من القرنية بسماكة ١٦٠ ميكرونًا، تظلّ عالقة بسويقة محيطية على القرنيّة. وبعد الانتهاء من تعريض القرنية لأشعة الليزر، وتبديد ما يشبه العدسة المصححة في القرنية، يُغسَل السطح من النّثار النسيجيّ المحروق، وتردّ السّديلة في القرنية إلى مكانها، وتثبّت أطرافها. بعدئذ، توضع في العين قطرات مضادّة للالتهابات؛ ولا تضمّد العين، ولا حاجة إلى إغلاقها. إلا أنّ المريض يحذَّر من فرك عينه بيده، لئلا ينزاح قرص القرنيّة عن موضعه. واللافت أنّ الألم المصاحب لهذه العملية يكون طفيفًا أو معدومًا؛ لأنّ الطبقات السطحية من القرنية لم تُحرق بالليزر، ولأنّ غشاء القرنية الظهاريّ بقي سليمًا ولم يُمَسّ.

وبعد إجراء هذه العمليّة، يتحسّن البصر ويُستعاد سريعًا. وتتميز العملية بنجاعتها، خاصة في حالات اختلال الانكسار المتوسط والشديد. ولا تتعرض القرنيّة بعدها للتليُّف أو التغيُّم، كما يحدث أحيانًا في عملية قطع القرنية بالليزر لتصحيح اختلالات الانكسار PRK.

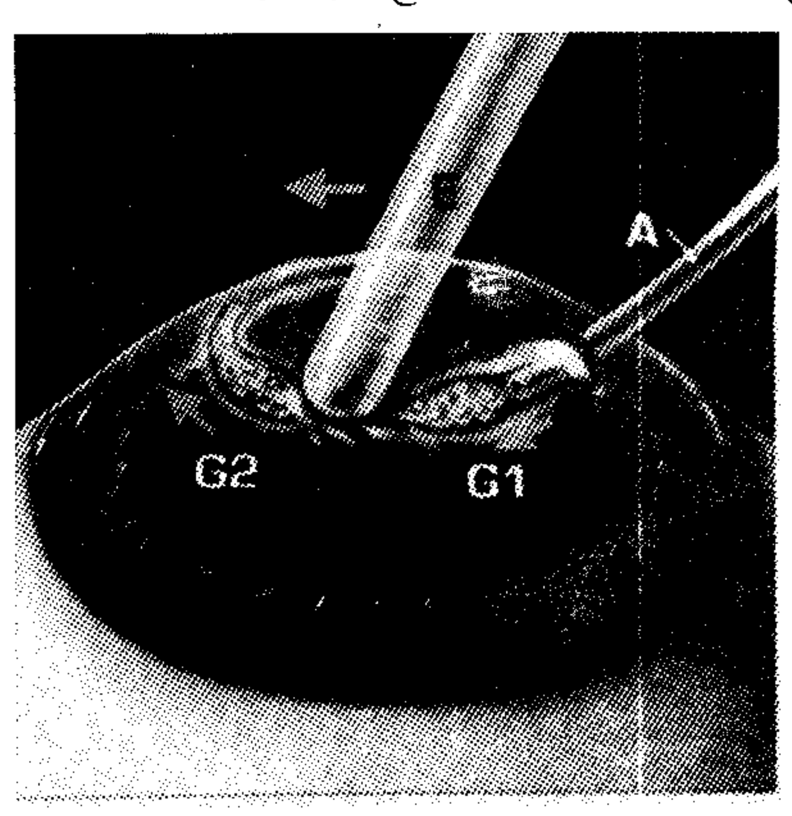
وتعدّ عملية الليزك عمليةً كُبرى، مقارنةً بعمليّات التصحيح البسيط للبصر بالليزر. فهي تتطلّب قطع شطيرة من القرنية بالقاطع الميكرونيّ؛ وهي بذلك أخطر وأدق وأكثر كلفة.

ولا بدّ من التأكد من تمركز المعالجة بالليزر على المنطقة المركزية المتوسطة في القرنية؛ إضافة إلى الحرص على عدم دخول موادّ نثاريّة أو خلوية بين السديلة وما تحتها من السّدى القرنيّ. فإن دخلت، فلا بدّ من إزالتها عن طريق غسلها بالمحلول الفيزيولوجيّ. كما يجب ألا تكون هنا ثنيات على الوجه الداخلي للسديلة، وأن تنطبق حواف السديلة على القاعدة القرنية؛ تمامًا مثلما كانت قبل القطع، ومن دون أيّ انزياح، مهما كان طفيفًا.

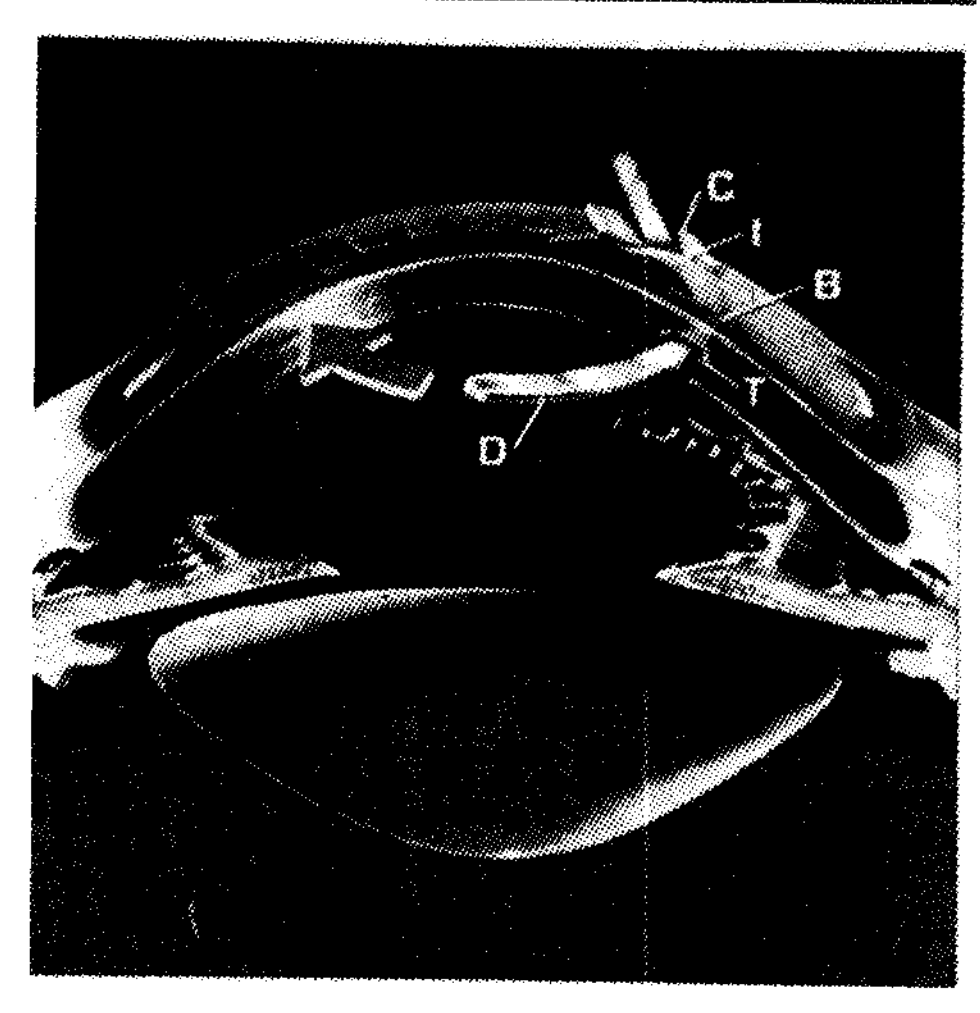
وقد يصاحب إجراء عملية الليزك التهاب خمجيّ ناجم عن تلوُّث جرثوميّ؛

لذلك، يُنصح باستخدام القطرات الصادّة للجراثيم، قبل العملية وبعدها بأيام. كما قد يحدث حَرَج بصر غير منتظم، بسبب تجافي التصحيح عن مركز القرنيّة. أضف إلى ذلك احتمال انقلاع السديلة القرنية، وعدم انطباق حوافها على حواف القطع في القرنيّة؛ الأمر الذي قد يؤدي إلى تأخُّر الالتئام، وما ينجم عنه من التهابات أو حَرَج بَصَرٍ أو تغيُّم في القرنيّة.

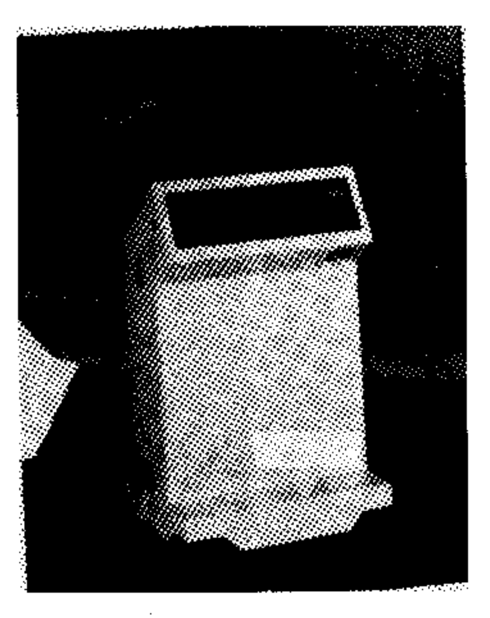
وباستطاعة أشعة الليزر الصادرة من جهاز ليزر إكسايمر، بطول موجيّ مقداره ١٩٣ نانومتراً، تبديد أجزاء من القرنية يمكن ضبطها؛ بحيث يُحَوَّر سطح القرنية ويتغير احديدابها، فتُعدَّل قوّتها الكاسرة للضوء. ومن المشكلات العامة المصاحبة لعمليّة الليزك: حدوث تراجُع في التصحيح بعد العملية بفترة. ووجد أن أغلب حالات التراجع يحدث عند إجراء العملية لتصحيح حسر البصر الشديد.



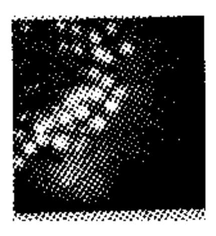
الشكل (١٢): حقن مادة جلاتينيّة في قرنية العين.



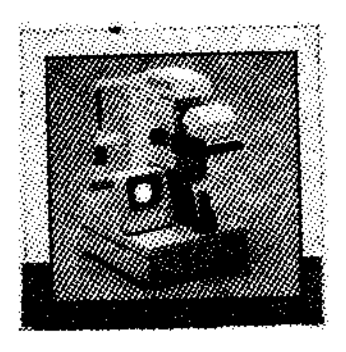
الشكل (١٣) : رسم يبين مسار الحلقة البلاستيكية ضمن نسيج القرنية.



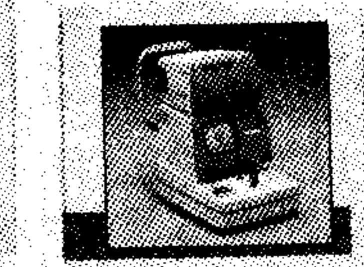
الشكل (١٤) : جهاز ليزر يعمل بغاز الآرغون لمعالجة أمراض الشبكية.

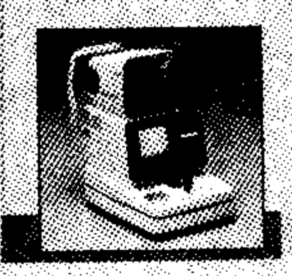


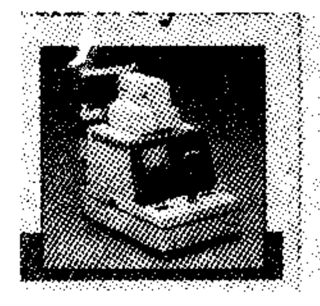
الشكل (١٥ - أ): صورة قاع العين في حالة اعتلال الشبكية السكري.
والدوائر البيضاء الصغيرة هي علامات المعالجة بأشعة الليزر.



(الشكل ١٥ - ب) : كاميرا خاصة لتصوير قاع العين.







الشكل (١٥ - ج) :

جهاز حديث جداً لقياس القرنية وسوء الانكسار.

جهاز حديث جداً لقياس ضغط العين.

جهاز حديث جداً لقياس سوء الانكسار.

الشكل (١٦) : لوحة تبين بعض فوائد الليزر في طبّ العيون.

رأب القرنية الحراريّ بالليزر لتصحيح مدّ البصر

Laser thermokeratoplasty for the correction of hypermetripia

أثبتت أشعة الليزر كفاءةً في علاج مدّ البصر؛ إذ يجري كيّ مناطق في الطبقة السطحية من القرنيّة في هيئة حروق سطحية، تُرَصّ على شكل دوائر صغيرة بعدد محسوب ومنتظم، وبخطوط شعاعية حول منطقة مركزية من القرنية لا تُمسّ بالكَيّ. والغرض من ذلك هو إحداث انكماش في محيط القرنية يؤدي إلى زيادة احديداب المنطقة المركزية؛ ما يخفّف من مدّ البصر أو يزيله كليّاً. فتتحسن الرؤية؛ ولا تعود العين في حاجة إلى عدسات مقرّبة محدّبة لعلاج مدّ البصر.

إنّ العملية الموصوفة هُنا لا تمسّ المنطقة المركزية من قرنية العين؛ على عكس العمليات الأخرى (PRK أو LASIK)، التي تغزو المنطقة المركزية من القرنية وتعفّ عن المناطق المحيطية منها.

والجدير بالذّكر أن عملية الرّأب الحراريّ للقرنية بالليزر لتصحيح مدّ البصر غير مصحوبة بألم. ويستقر البصر في العادة بعد ٣ شهور من إجرائها. وهُنا تجب الإشارة إلى نجاعة هذه العملية في حالات مدّ البصر الطفيف، الذي لا يتعدى ٣ كسيرات. أما في حالات مدّ البصر الشديد، فهي غير موثوقة وغير مضمونة النتائج.

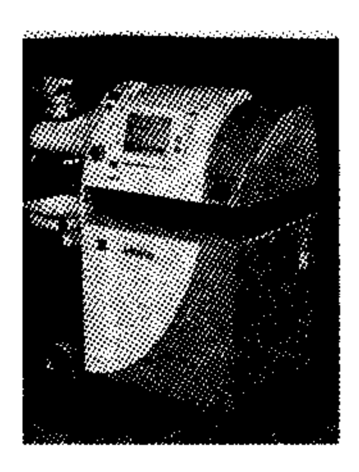
الجراحة التجميلية للعين بالليزر Laser in oculoplastic surgery

تطوّرت الجراحة التجميلية باستخدام أشعة الليزر بفعل التقدم الذي حدث في تقنية الليزر وفي مجال الألياف الضوئية. وقد استخدمت أشعة الليزر بمستويات متفاوتة من النجاح في جراحة المجاري الدّمعية؛ إذ أمكن ثقب الغشاء المخاطي للأنف وإحداث ثغرة في عظم الأنف ثم في كيس الدّمع، لتسهيل تسرُّب الدمع إلى الأنف مباشرةً عند انسداد المجاري الدمعية.

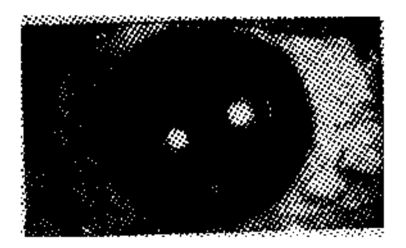
كما وظّف ليزر الآرغون في تخثير الأورام الوعائية الوحميّة حول الأجفان، وفي استئصال الشّعرة النّاكسة في حواف الجفن. كذلك، استخدم ليزر ثاني أُكسيد الكربون

في القضاء على كثير من الأورام الوعائية اللمفاويّة. وصُنعت أجهزة من هذا النوع من الليزر لاستخدامها في تجميل الوجه، والتخلص من ترهُّل الجلد الناجم عن التهدُّل بفعل الهَرَم.

تحتوي هذه الأجهزة على مجسّات تفرُّسية Scanning probes، تحدّد القوّة اللازمة لأشعة الليزر التي يجب تعريض جلد الوجه بشكل عام، والأجفان بشكل خاصّ، لها لإجراء العلاج اللازم. ويعيد الليزر استواء الجلد ونضارته؛ فيبدو أملَسَ شبابيّ المظهر. أضف إلى ذلك أنّه يخلّص الوجه من التصبُّغ، وتوسُّع العروق الدّموية. يعمل الليزر على تقشير الطبقات السطحية من البشرة والمناطق العليا من الأدمة؛ فيحرقها من دون أن تصل إلى درجة التفحُّم. وحين تلتئم الألياف الكلاجينية السطحية، يتماسك جلد الوجه ويبدو نضراً لامعًا. وهُنا يُشار إلى ضرورة وضع المراهم والمعاجين المرطبة والمنعشة لمساعدة البشرة في التجدُّد. وثمّة أنواع من أجهزة الليزر تحتوي على مجسّات خاصة تقطع بانتظام، كالسكين. فتسهّل قطع الجلد المتهدّل في الاجفان؛ وبواسطتها يمكن أيضًا قطع الملتحمة، والتخلص من الفتق الشحميّ والجيوب البارزة تحت الأجفان بفعل الزّمن.

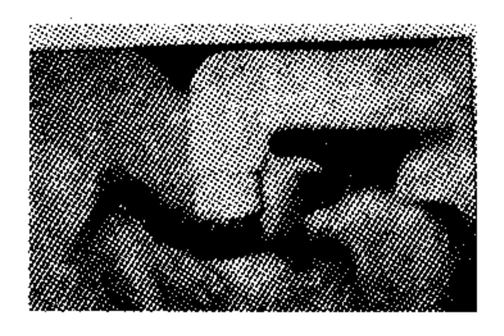


الشكل (١٧) : جهاز ليزر حديث لتصحيح جميع أنواع سوء الانكسار البصري : (قصر البصر ـ مد البصر ـ اللابؤريّة).

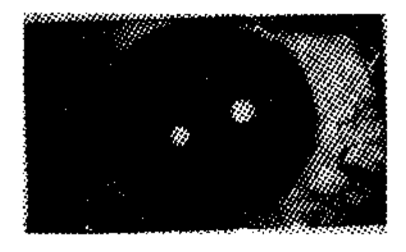


الشكل (١٨) : تصحيح البصر بالإبادة الضوئية بأشعة الليزر PRK.

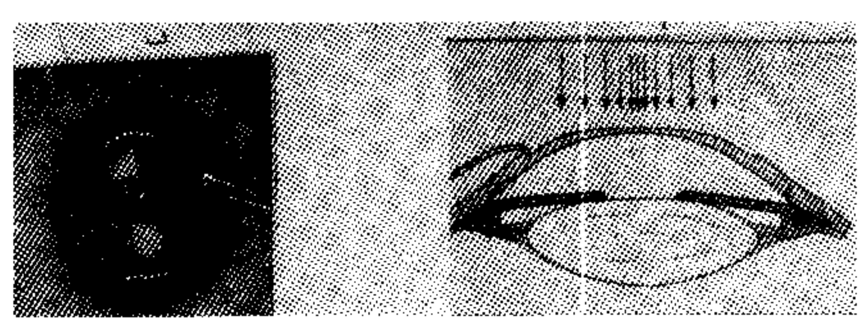
تبدو القرنية وقد قشطت طبقتها الظهارية على شكل قرص في حدود ٧ ـ ٨ مليمترات ، وهذا ضروري قبل تطبيق أشعة الليزر، التي تبيد من السدى القرني ما يشبه العدسة المصححة.



الشكل (١٩) : تصحيح البصر بالإبادة الضوئية بأشعة الليزر PRK. طريقة حديثة لإزاحة الطبقة السطحية الظهارية في القرنية بواسطة فرشاة تدور آليًا. ولا تستغرق العملية أكثر من ثانيتين إلى خمس ثوانٍ ، يكون فيها المريض مستلقيًا تحت مجهر الليزر الجراحي.



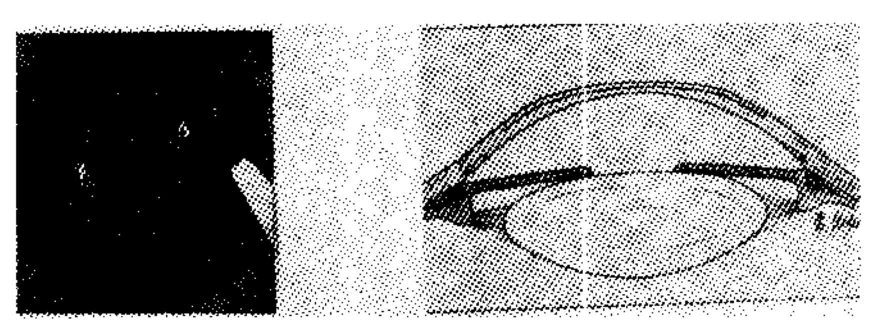
الشكل (٢٠) : قاطع القرنية الميكروني الذاتي في عمليات الليزك. هذا القاطع تشطر به طبقات القرنية؛ فتشكل سديلة عالقة، بحيث يتوقف الجهاز القاطع ولا يفصل السديلة القرنية كليًا.



رسم للقسم الأمامي في العين يبيّن سديلة القرنية المزاحة. والأسهم تدل على أشعة الليزر الموجهة إلى القرنية لإبادة جزء منها لتصحيح البصر. وقد بدا سطح القرنية مستويًا بعد أن كان محدبًا.

صورة للعين وقد نحيت السديلة العالقة في القسم الوحشي من القرنية، وطبقت أشعة الليزر على القرنية.

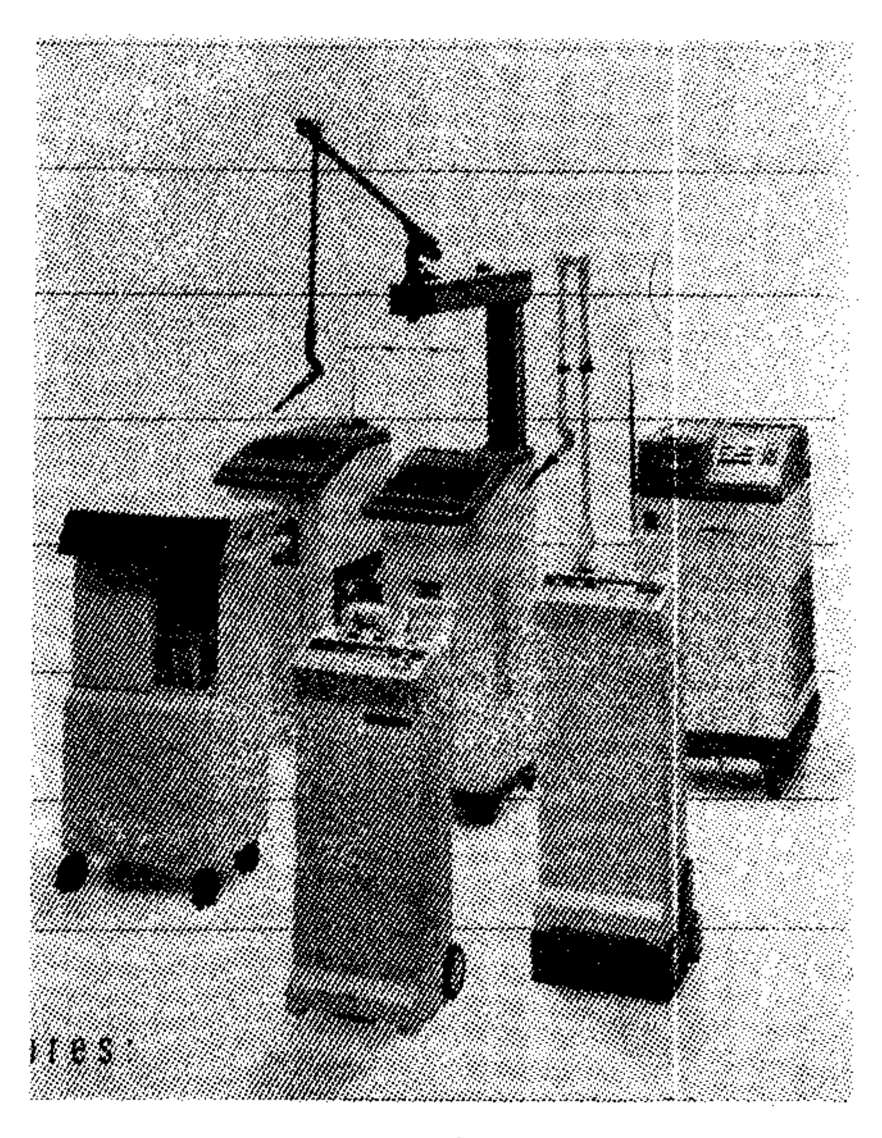
الشكل (٢١) : تصحيح البصر بالليزر، مع تحوير سطح القرنية جراحيًا في آن معاً .



الشكل (٢٢) :

رسم يبين إعادة السديلة إلى مكانها بعد إجراء التصحيح.

صورة للقرنية التي عولجت بالليزر وأعيدت السديلة مكانها؛ فالتصقت على القرنية تحتها بلا خياطة.



الشكل (٢٣) : أجهزة عدّة لإعادة تشكيل سطح الجلد
في معالجة حالات شيخوخة الجلد وتجعداته.

تطوُّرات بارزة في جوانبَ مختلفة من التكنولوجيا الطبية

شهد القرن العشرون تطوّرات بارزة في مختلف جوانب التكنولوجيا الطبية؛ منها: التصوير الطبي، والجراحة التنظيرية، وجراحة العظام، وجراحة الجهاز العصبيّ، وتشخيص أمراض القلب والعروق الدموية، وتفتيت الحصى، وزراعة الأعضاء، ومعالجة العقم، والاستنسال الصناعيّ، وخياطة الجروح. وامتدت تلك التطورات لتشمل جوانب أخرى كالإعلام والاتصال؛ الامر الذي أدّى إلى ظهور ما يُعرف بالطبّ عن بُعد. في الجزء التالي من هذه الدراسة، نلقي الضوء على بعض تلك التطورات التي كان لها أكبر الأثر في تيسير حياة الإنسان، وعلاج الكثير من الأمراض والوقاية منها. وهذا بالطبع ليس سوى غيضٍ من فيض.

التّصوير الطّبّيّ

تشير التقديرات إلى أنّ التّصوير كان يُمارس في القرن التّاسع عشر على نحو بدائيّ؛ وذلك بتجميع الأشعة الشمسية في بؤرة على طبق حساس مطليّ بأحد مركبات الفضة. وفي هذا المجال، لا بد من الإشارة إلى جهود العالم العربيّ الحسن بن الهيثم، الذي صنع الغرفة المظلمة؛ محاكيًا بها العين البشريّة لاستجلاء طبيعة الإبصار. وشهد التصوير تقدّمًا لافتًا في القرن العشرين. فصُنعت الآلات المصوِّرة ودُمجت العدسات فيها؛ وأصبحت أشعة الشمس تُسلَّط على الجسم المراد تصويره، فتتكون له صورة سلبية، ثم تُطبع الصورة الإيجابية للجسم بعد معالجة الفيلم بحموض ومواد كيميائية أخرى. ويعيبُ التَّصوير بهذه الطريقة ضرورة توافر شدّة إضاءة مناسبة؛ فإذا غابت الشمس أو حجبتها الغيوم أو جرى التصوير في الظّلّ، خرجت الصورة معتمة وغير واضحة المعالم.

وتبع ذلك استخدام التصوير الضوئي بواسطة مصدر ضوئي كهربائي قويّ، يُسلَّط ضوؤه على الجسم المراد تصويره.

وفيما يتعلق بتصوير العين: في النصف الأوّل من القرن العشرين، كان يُعتمد على

الرسم لبيان أمراض العين الخارجية والسطحية. وكان الرّسّام يرافق الطبيب في العيادة، ويرسم ما يشير إليه. وقد اعتُمد على الرّسم في كشف أمراض الشبكية والمشيمية، واعتلالات قاع العين. واستعين بمنظار العين المباشر الذي كان متوافراً منذ أواخر القرن التاسع عشر؛ فكان الطبيب يطلب إلى الرّسّام النظر إلى داخل العين بالمنظار ليرسم ما يراه.

وشهد القرن العشرون أنماطًا متقدمة في التكنولوجيا المستخدمة لتصوير العين. فأصبح بالإمكان تصوير الأذيات السطحية والأورام بآلات تصوير متطوّرة، يمكن في بعضها استخراج الصورة على الفور؛ كما هي الحال في الآلات العاملة بالاستقطاب. وفي ستينيات القرن العشرين، صُنع أول جهاز لتصوير قاع العين. تلا ذلك صنع أجهزة لتصوير البيت الأمامي وزاوية العين؛ وأخرى لتصوير بطانة القرنيّة، لتسهيل عدّ الخلايا البطانيّة من أجل تقدير مدى صلاحية القرنيّة، خاصّة قبل زراعة القرنيّة أو ترقيعها. هذا إلى جانب أجهزة التصوير الطوبوغرافيّ لقرنيّة العين.

لقد كان اكتشاف الأشعة السينيّة على يدي العالم الألمانيّ رونتغن اكتشافًا عظيمًا. وتستطيع هذه الأشعة أن تنفذ من طبقات الجسم من جلد وعضلات وعروق دموية وشحوم، لكنْ تصدّها الأجزاء الصلبة؛ فترسم العظام وتحدّدها وتظهر ظلال القلب والرّئتين والعروق الدموية الكبيرة. وتكشف هذه الأشعة، على سبيل المثال، وجود كسر في العظم أو خلل في العمود الفقري أو حصى في الكُلية أو المرارة. وأصبح بالإمكان حقن مواد ظليلة في العروق الدموية لإظهار الأورام الدموية أو أمراض العروق الدموية الكبيرة؛ مثل: أمّهات الدّم أو توسُّع العروق أو انسدادها. كما أمكن الكشف عن أمراض الكُلية، كتعطُّلها أو وجود ورم أو انسداد في كُييساتها أو في الحالب؛ إضافة إلى أذيات المرارة وآفات المثانة.



أ ـ قبل العملية: يبدو الجلد هرماً مغضناً، وتظهر عليه علامات الشيخوخة الصباغية والأثلام الكثيرة حول الفم وعلى الوجنتين وفي الجبهة.



ب ـ ثلاثة شهور بعد العملية: طبقت المعالجة الجراحية التجميلية بالليزر؛
فبدا جلد الوجه أكثر تماسكًا ونضارة وشبابًا مما كان عليه،
واختفى الكثير من التجاعيد والأثلام والبقع الصباغية الدالّة على الشيخوخة.

الشكل (٢٤) : الجراحة التجميلية بليزر ثاني أكسيد الكربون.

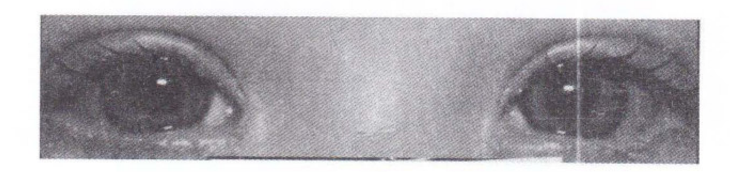


أ. قبل العملية: تبدو هنا أنياب صباغية متعدّدة على الجبهة والصدغ والوجه والأجفان.



ب ـ بعد العملية: هكذا بدا الأمر بعد ثلاثة أشهر من جراحة الليزر التجميلية بغاز ثاني أكسيد الكربون.

الشكل (٢٥) : الجراحة التجميلية بأشعة الليزر.

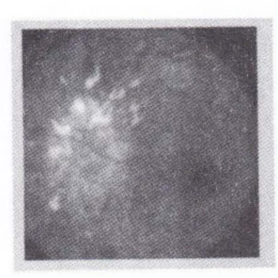


أ ـ قبل المعالجة.



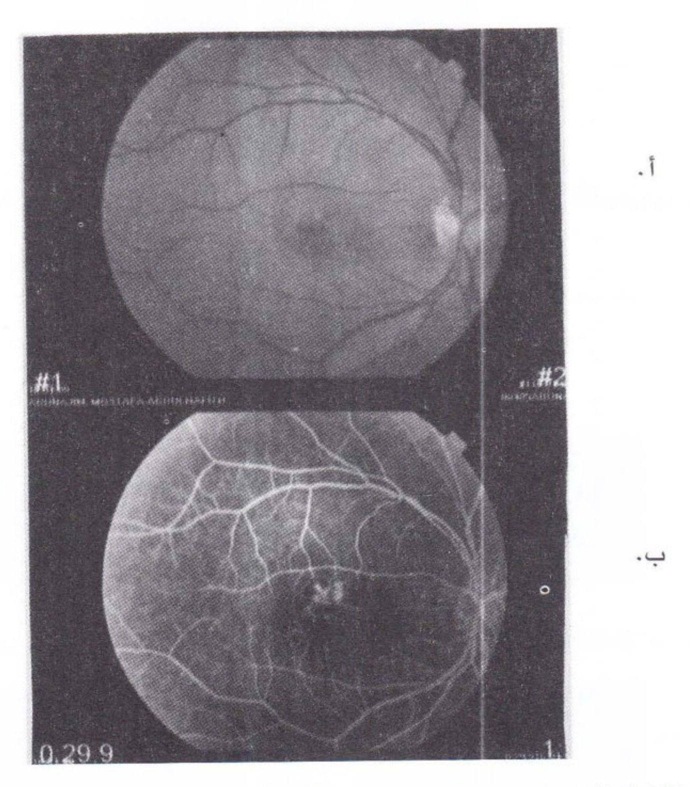
ب ـ بعد المعالجة.

الشكل (٢٦) : التصوير الطبي للمقارنة.



الشكل (٢٧) : تصوير قاع العين يبدي تورّمًا في العصب ووذمة نتيجةً لوجود ورم في الدماغ.

أ.



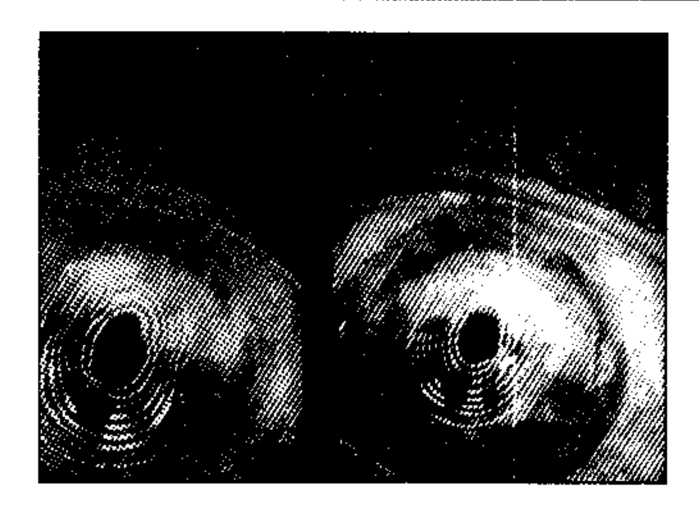
ب.

أ- صورة ملونة لقاع العين تبدي العصب البصري وتفرعات الشريان والوريد الشبكي المركزي. وفي منطقة اللطخة الصفراء، التي تحتل مركز الصورة، تظهر تغيرات مرضية.

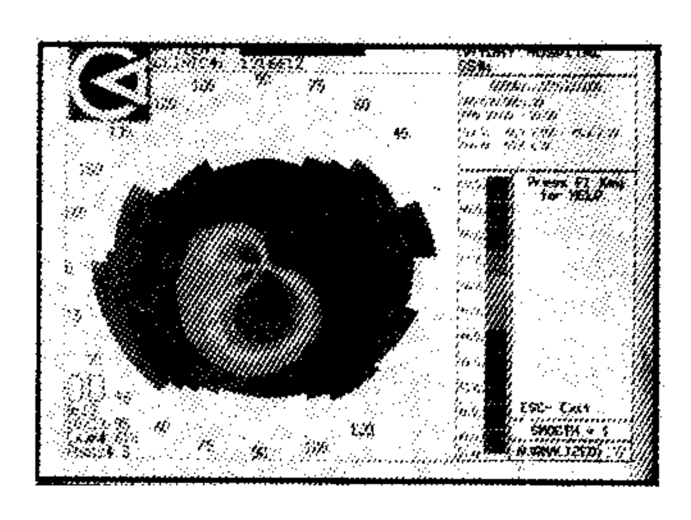
ب - الصورة نفسها بعد حقن الفلورسين في الوريد. ويظهر بوضوح وجود عروق دموية نازفة تحت الشبكية. ومعالجتها تكون بكي العروق الدموية النّازفة بأشعة الليزر.

وتقدّم التصوير الطبيّ بظهور التصوير المحوريّ المقطعيّ المحوسب؛ فغدا ممكنًا تصوير مقاطع في أعضاء الجسم. واستفادت التقنيات الطبية من الحاسوب في الحصول على صور مقطعية دقيقة ذات فواصل واضحة للتمييز بين منطقة وأخرى. واستخدم التصوير المحوريّ المقطعي المحوسب في الأنسجة الصُّلبة كالعظام، لكشف الكسور وتحديد ثخانة العظم.

ومن تقنيات التصوير الطبي الأخرى: التصوير بالرنين المغناطيسي MRI. وقد شاع استخدام هذه التقنية لكشف الأورام والأذيات في الأنسجة الدقيقة الرخوة؛ مثل: أنسجة العين والدماغ.



أ - صور تبدي دوائر مشوهة غير منتظمة على سطح القرنية. وهي دلالة على الإصابة بداء تمخرط القرنية.



ب - صورة طوبوغرافية ملونة بالحاسوب لحالة قرنية مخروطية. وكل لون يدل على قوة انكسار القرنية في تلك المنطقة.

الشكل (٢٨) : التصوير الطوبوغرافي.

أما التصوير بالموجات فوق الصوتية Ultrasonography، فتُستخدم فيه موجات عالية الترددات تنقل أصواتًا لا تستطيع الأذن البشرية سماعها. وتستطيع معدّات حساسة إرسال الدّفقات الصوتيّة واستقبالها، والحصول بذلك على معلومات حول ما تصطدم به تلك الموجات في أثناء سيرها. فبعض الموجات ينعكس مرتدًا إلى المصدر؛ والبعض الآخر ينكسر، فينفذ خلال الجسم ويواصل سيره. وتختلف نسبة ما ينعكس أو ينكسر من الموجات وَفْقَ كثافة الحاجز الذي اعترض تلك الموجات.

استُخدم التصوير بالموجات فوق الصوتية ـ على سبيل المثال لا الحصر ـ في كشف التشكيلات التشريحية السليمة أو المرضيّة العميقة في الجسم؛ مثل: تصوير البطن للوقوف على وجود أذيات أو حمل طبيعي أو غير طبيعيّ. أضف إلى ذلك تصوير الجنين، وتحديد حجم جمجمته وشكلها، وكيفية تموضُعه داخل الرّحم؛ واستقصاء تعدد الأحمال؛ ومعرفة جنس الجنين بموْثوقيّة عالية؛ والتنبُّؤ بوجود تشوهات أو عدم وجودها في جسم الجنين.

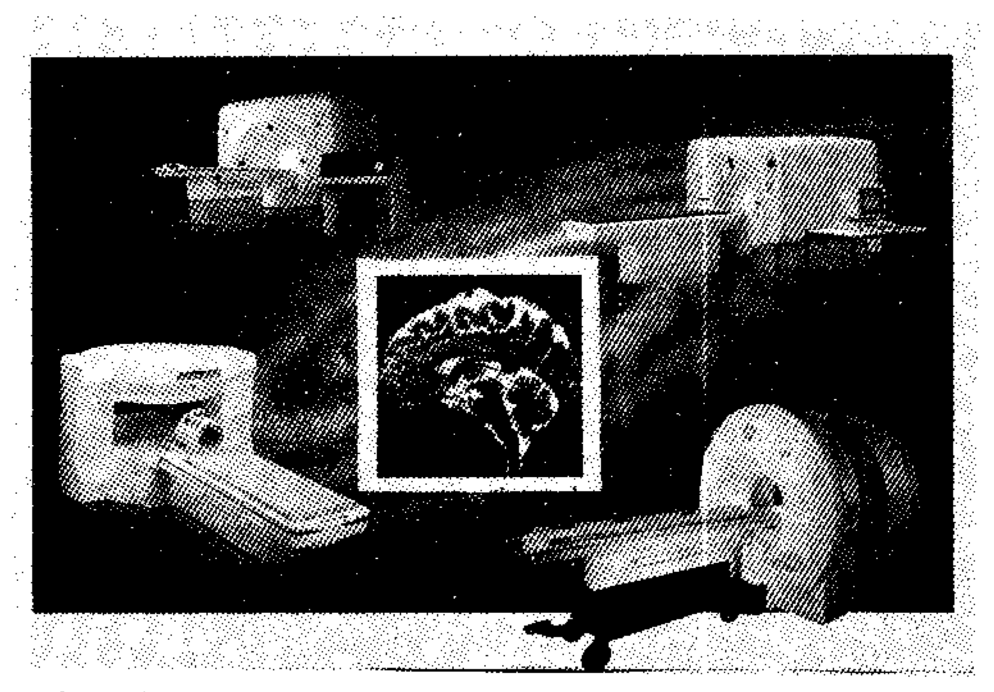
وأصبح التصوير بالموجات فوق الصوتية ثلاثي الأبعاد. ومكّن ذلك من الوقوف بدقة على حجم العضو المراد دراسته وشكله؛ وكشف الملابسات المرضية، إن وُجدت.

كذلك، مكّن السّونار الثلاثي الأبعاد من الاطمئنان على سلامة الجنين، وتحديد شكله وحجمه، ونمط تموضعه في الرّحم؛ إلى جانب مراقبة الحمل، وتشخيص أمراض الأجنّة. كما ساعد في قياس التروية الدموية للرحم ولجسم الجنين، من دون مداخلات جراحية.

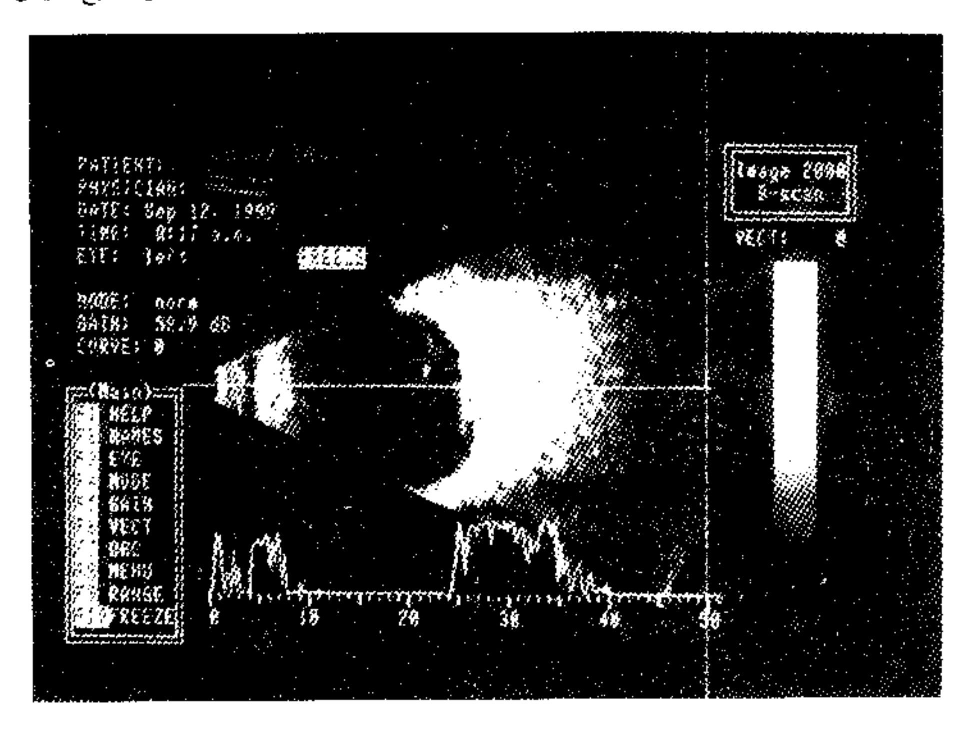
ومكّن التصوير الملوّن بالموجات فوق الصوتية من تشخيص الخثرات الوريدية على نحو أدقّ من التصوير الوريديّ الملوّن.

أما في مجال طب العيون، فقد ساعد التصوير بالموجات فوق الصوتية في قياس الأبعاد التشريحية للأجزاء الداخلية التي يصعب الوصول إليها. ومن تطبيقات هذه التقنية في طب العيون: قياس أبعاد العين وقوة العدسات المصحّحة؛ وتشخيص الأذيات الداخلية من نزوف وأورام؛ وكشف حالات انفصال الشبكية، أو جود أجسام

غريبة داخل العين، أو انقلاع العدسة وسقوطها داخل العين. أضف إلى ذلك قياس طول العين وعرضها، وعمق البيت الأمامي، وسماكة العدسة البلورية، وسماكة القرنية، وحساب قوة العدسة المزروعة بعد استخراج السّاد أو في عين فقدت عدستها البلورية. ومن التطبيقات الأخرى: تحرّي حالة الأنسجة الداخلية وقعر العين؛ وكشف حالات التغيُّم وعدم الشفافية في الأجزاء الكاسرة للضوء في العين، مثل القرنية والعدسة البلورية.



الشكل (٢٩) : التصوير بالرنين المغناطيسي: أشكال متعددة من أجهزة المرنان المغناطيسي. وفي الوسط، تبدو صورة نصفية للدماغ، كما يظهرها هذا المرنان.



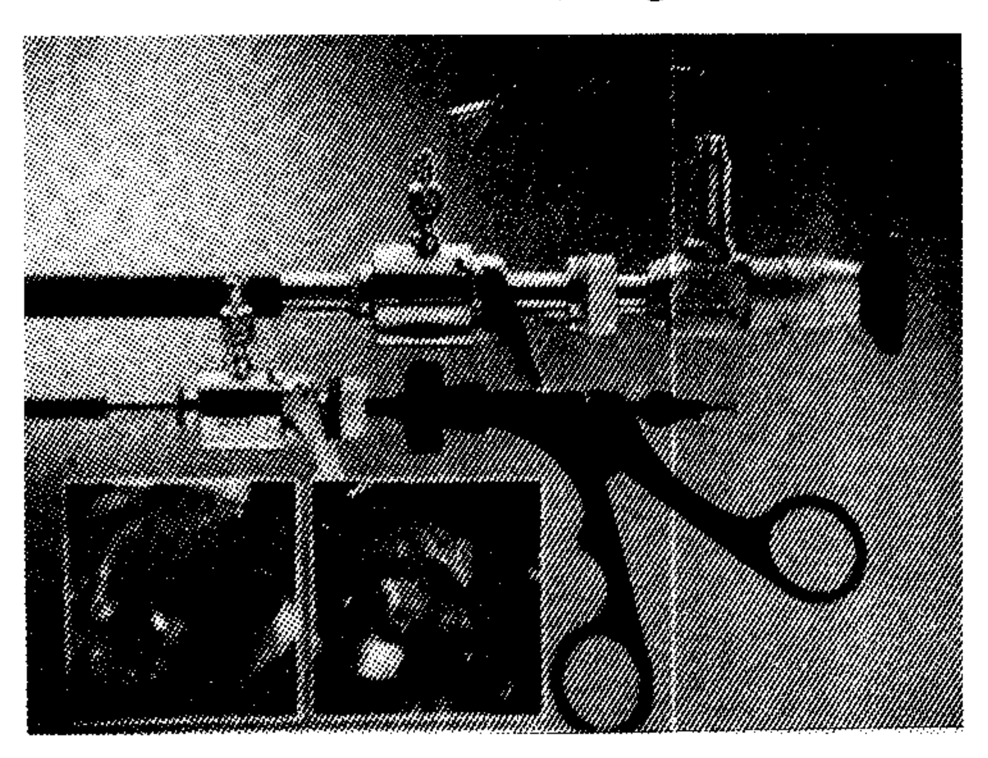
الشكل (٣٠) : صورة للعين بالموجات فوق الصوتية. في الأعلى: صورة ذات بعدين. وتبدو من اليسار إلى اليمين : القرنية ، فالعدسة ، فالجوف الخلفي للعين ، فالشبكية ، فالحجاج. في الأسفل: صورة ذات بعد واحد ، تبين البعد الطولي للعين؛ وهو ما نسميه القياس الحيوي البيومتريّ لتحديد قوة العدسة التي يراد زرعها في العين.

الجراحة التنظيرية Endoscopic surgery

تعدّ هذه الجراحة تطوّراً هائلاً في العمل الجراحيّ. وتُجرى على أعضاء داخلية أو مناطق عميقة في الجسم يصعب الوصول إليها. وتتميز الجراحة التنظيرية بسهولتها ، وبعدم إحداثها جُروحًا أو تمزُّقات في أنسجة الجسم أو طبقاته المختلفة ، من جلد وعضلات وألياف وعروق دموية وأعصاب . ومن مزاياها أيضًا : قصَر فترة الاستشفاء؛ وقطع الطريق على الأخماج الجرثومية ، والالتهابات ، وانتقال العدوى من المرضى الآخرين المقيمين في المستشفى . أما الجروح في عمليات الجراحة التنظيرية ، فهي صغيرة جدًا؛ وهي أقرب إلى الثقوب .

تجرى الجراحة التنظيرية عن طريق إدخال ألياف ضوئية متصلة بآلة تصوير، بعد نفخ البطن بالهواء. وتُسقَط الصورة على شاشة لتوضيح موضع الخلل أو الورم أو الحصاة أو العضو المراد استئصاله، بكيِّه بالكاوي الكهربائيّ، أو تبديده بأشعة الليزر.

وتعمل المناظير الحديثة بأشعة ليزر الآرغون، وتعطي إضاءة صافية. وهي تعمل مع آلات تصوير فائقة الدقة على إعطاء صور ثلاثية الأبعاد، تمكّن الجرّاح من العمل بدقة وسرعة وكفاءة. ومن العمليات الجراحية التي تُجرى بالمنظار: استئصال المرارة أو الزائدة الدوديّة؛ وإصلاح فتق الحجاب الحاجز؛ وردّ الفتق المغبنيّ؛ وفكّ التصاقات تجويف البطن والأمعاء؛ إلى جانب عمليات جراحية خاصّة بالنساء، كاستئصال المبيض وإزالة الأكياس وقطع الأورام.



الشكل (٣١): الجراحة التنظيرية بواسطة الألياف الضوئية الدقيقة. ويمكن تنظير الأعضاء الداخلية في الجسم، من دون الحاجة إلى شق الأنسجة وقطعها، كالصدر والبطن. وفي الأسفل، تبدو صورة الورم الذي كشفه جهاز التنظير. ويمكن في هذه الحالة قطع جزء منه للفحص، أو استئصاله بعد تخثيره كاملاً.

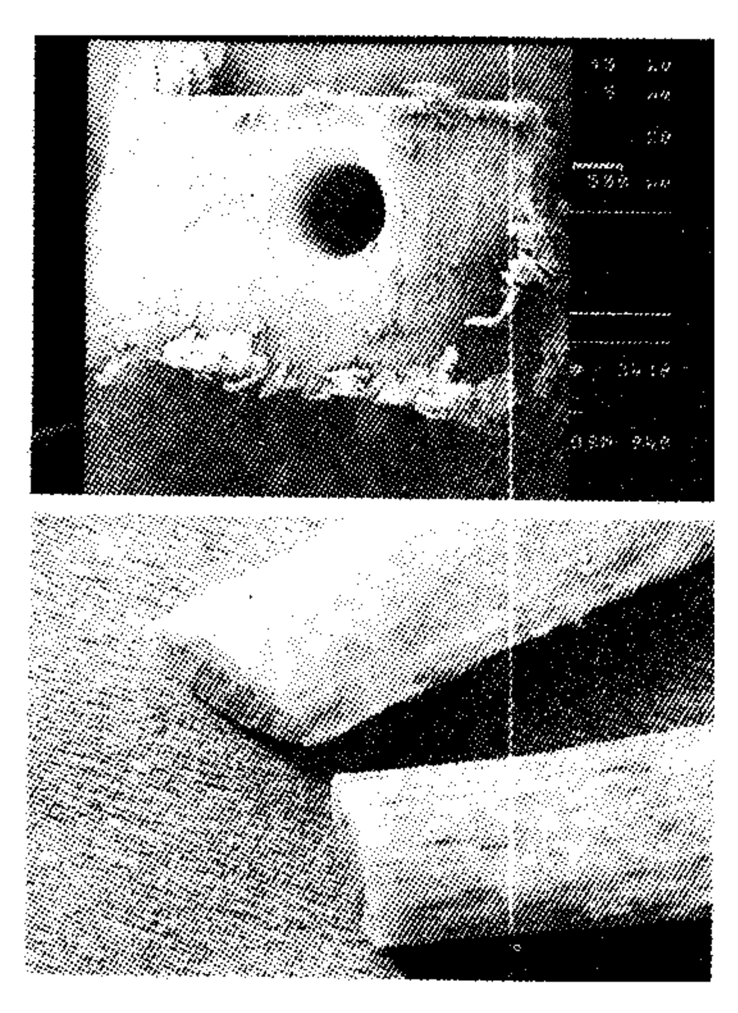
الليزر وجراحة العظام

شاع منذ زمن استخدام أشعة الليزر في جراحة الأنسجة الرخوة؛ مثل: العين، والأنف والأذن والحنجرة، والقلب والأوعية الدموية، والأعصاب. كما استخدمت هذه الأشعة في الجراحة المتعلقة بالأمراض النسائية، وفي الجراحة التجميلية. أما جراحة الجهاز العظمي بالليزر، فهي حديثة نسبيًا.

يُوجّه شعاعٌ مُركّز قويّ ذو طاقة عالية عبر ألياف ضوئية دقيقة مرنة، يتراوح قطرها بين ٠,٢٥ مليمتر ومليمتر واحد، تصل إلى المنطقة الجراحية؛ فتقطع النسيج الجراحي المستهدف أو تستأصله، وتخثر حواف الجروح أو حواف القطع من دون إحداث أي رضٍّ أو تهتُّك. وبينت التجارب أنّ أشعة الليزر بإمكانها إحداث ثقوب في العظم غاية في الدقة والانتظام، دونما تلف في حواف الثقب أو جوانبه. ويُقطع العظم بالليزر تحت الماء. وتبلغ الدقة أقصاها في وسط شعاع الليزر؛ لذلك، تقطع الأجزاء المركزية من النسيج قبل المحيطية.

وفي جراحة العظام، تُستخدم أجهزة ليزر تولّد أشعة بأطوال موجيّة مقدارها ١٠٦٤ نانومترًا أو ٢١٢٠ نانو مترًا أو ٢٩٤٠ نانومترًا، على شكل نبضات زمن الواحدة منها ٤٠٠ ملي ثانية.

وفي الجراحة العظمية تحت الماء، تتكون فقّاعات، تحتوي على البخار وعلى أجزاء من النسيج المتطاير.

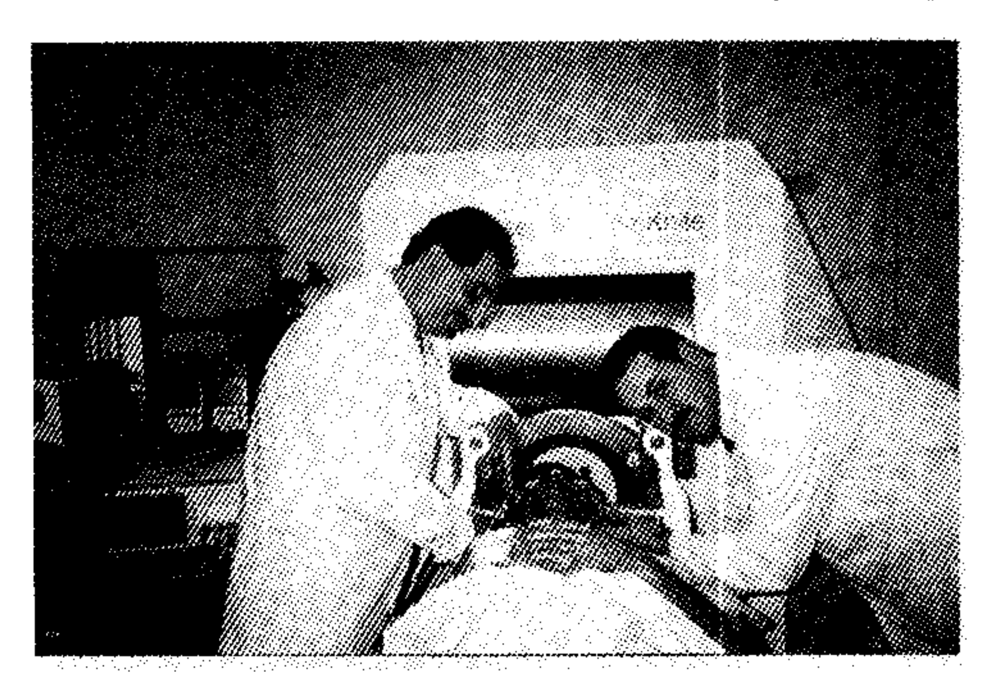


الشكل (٣٢) : جراحة العظام بالليزر.
قطع العظم تحت الماء بجهاز الليزر.

جراحة الجهاز العصبيّ

كانت الجراحة التقليدية تُجرى بالمبضع والسكين، بحفر ثقوب في الجمجمة وفتح عظامها لاستخراج الأورام منها. واستخدمت الجراحة التنظيرية عبر الأنف في حالات أورام الغدّة النخامية وما حولها. وحديثًا، أخذت الجراحة العصبية تُجرى بسكّين أشعة

غاما؛ إذ يُستغنى عن فتح الجمجمة في حالات الأورام الدماغية الصغيرة، وتُصوّب أشعة غاما على منطقة الورم. ويقاس حجم الورم ويحدَّد تموضعه بدقة، لاحتساب كمية الأشعة اللازمة.



الشكل (٣٣): المعالجة بأشعة غاما لمعالجة الأورام الدماغية الصغيرة وإبادتها.
حُضّر المريض، وأدخل رأسه تحت مظلة جهاز أشعة غاما. تصوب الأشعة بكمية مدروسة وبزمن محدد؛ فتمحو الأشعة الورم الدماغي في ثوانٍ معدودة، من دون الحاجة لفتح الجمجمة. وهذه المعالجة تسمى «سكين أشعة غاما».

وفي أربعينيات القرن العشرين، بدأ استخدام ما يُعرف بالجراحة العصبية الكهربائية المصوَّبة Stereotactic. وفيها يُثبّت رأس المريض في صندوق معدنيّ، وتُحقن البطينات الدّماغية بالهواء؛ ثم تستخدم الأشعة السّينية في تحديد الموضع اللازم إجراء الجراحة عليه في الدماغ بصور ثلاثية الأبعاد.

وقد طبق جرّاح الأعصاب السويديّ لكسيل هذا المبدأ في مدينة ستوكهولم على

مرضى الپاركنسون لمعالجة الرّجفان والتصلب؛ وذلك عن طريق تحديد موقع العقدة الشاحبة الدماغية، المسؤولة عن التصلب والرّعاش لدى المرضى، باستخدام إبرة كهربائية تدخل من خلال فتحة صغيرة في الجمجمة.

تطوّرت تقنيات علاج مرضى الحركات اللاإرادية النّاجمة عن داء پاركنسون والرّعاش الوراثي الأساسيّ، والرّعاش النّاجم عن احتشاء الدماغ أو الكدمات الدماغية، والرّعاش الناتج عن التهابات الدماغ والتصلب اللويحيّ. ويرجع الفضل في هذه الجراحة الحديثة إلى الجراح الفرنسيّ، الجزائريّ الأصل، عليم بن عبيد في مدينة غرينوبل الفرنسية، الذي اكتشف أنّ النّواة تحت المهاد Subthalamic nucleus هي السبب في غالبية حالات مرض پاركنسون. واكتشف أنّ التحفيز الكهربائي لتلك النواة ـ وليس كيّها كهربائيّاً ـ يعطي نتائج أفضل. وقد عُرفت هذه العملية باسمه، وغدت الخيار الأوّل في علاج داء پاركنسون.



الشكل (٣٤): الجراحة العصبية الكهربائية المصوبة لجراحة الرجفان في داء پاركنسون؛ وكذلك، لمعالجة الصلابة وبطء الحركات.

تشخيص أمراض القلب والأوعية الدموية

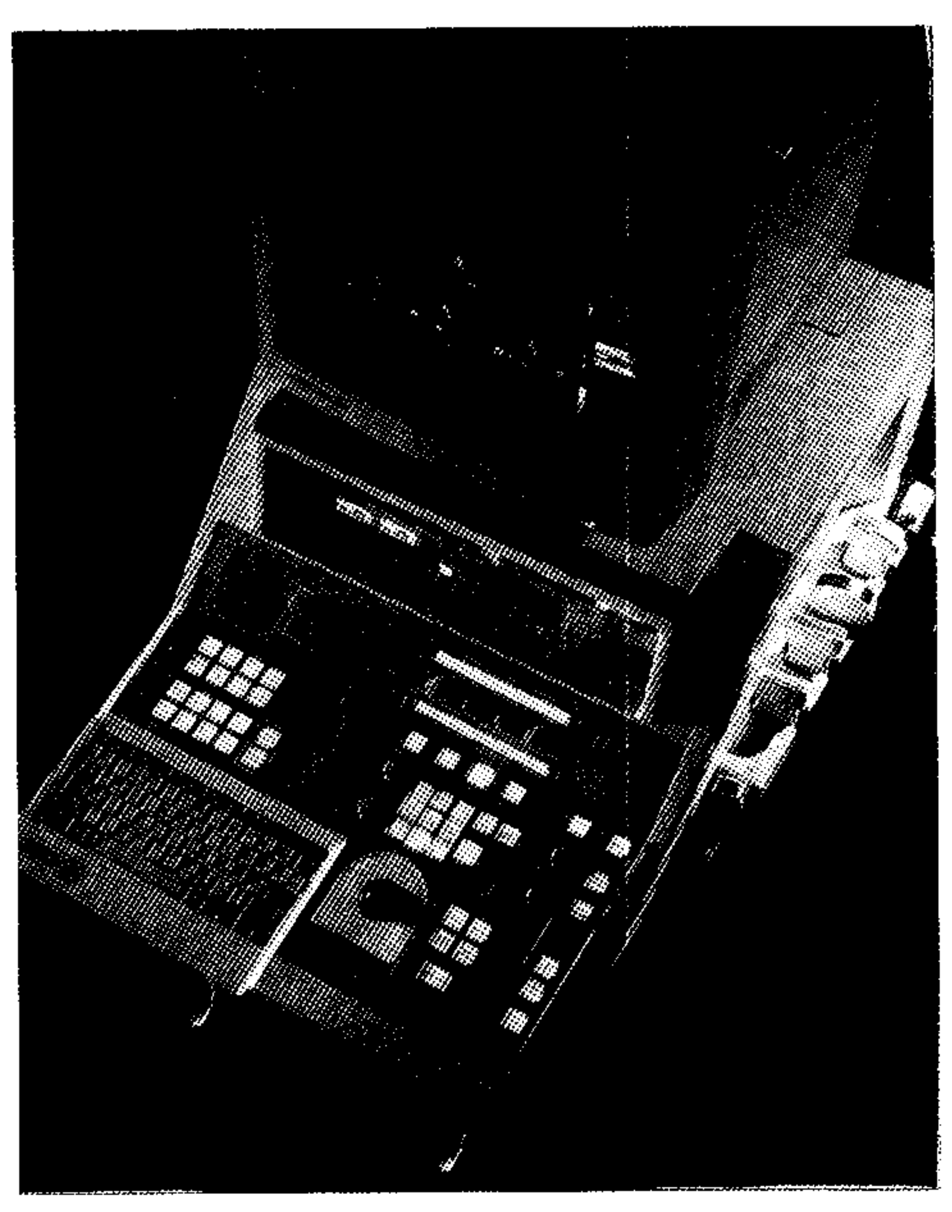
كانت السّمّاعة الطبية سلاح الطبيب في كشف أمراض القلب والرئتين والمجاري التنفسية. وظهرت تقنيات طبية متطورة تكشف بدقة أمراض القلب والرئتين والشرايين.

ثمّة سيالة عصبية في القلب، مركزها عُقد عصبية في جيب في الأذين الأيسر من القلب، وتعمل على استمرار خفقان القلب مدى الحياة. وقد تمكّنت التكنولوجيا الطبية من الإفادة من كهربائيّة القلب في الوقوف على صحته أو مرضه؛ فاستخدم تخطيط القلب ECG لكشف أي خلل في نبضات القلب؛ مثل: بُطء الخفقان أو عدم الانتظام أو التسارع في دقات القلب؛ إضافة إلى وجود احتشاء قديم أو حديث في عضلة القلب أو عدم ضخ ما يكفي من الدم إلى الدماغ؛ ما قد يسبّب السّكتة القلبيّة الدماغيّة، التي قد تُفضي بدورْها إلى الموت المفاجئ.

أما تصوير القلب بالصدى، فيساعد في إظهار ثخانة الدّسامات القلبية، خاصة الدّسام التاجيّ؛ ما يمكّن من كشف أي قصور في انغلاق الدّسام أو أي انسداد فيه.

وأما قثطرة القلب Cardiac cathetarization، فتُجرى لقياس درجة ارتفاع الضغط الرئوي، واستقصاء الدّسام الأبهريّ، والتصوير الوعائي للشّريان الإكليليّ لكشف أمراض القلب الإكليلية.

ويشار إلى أنّ تصوير القلب بالصدى يعطي تقديراً دقيقًا لمدى تضيُّق الدّسام القلبيّ، من دون مداخلة خطرة.



الشكل (٣٥) : التصوير المضاعف بالموجات فوق الصوتية لقياس سرعة جريان الدم.
في حالة زيادة اللزوجة الدموية، يبدو جريان الدم بطيئاً.

تفتيت الحصى Lithotripsy

يتشكّل الحصى في الجهاز البوليّ: في الكُلية أو الحالب أو المثانة أو الإحليل. وقد يترسب في المرارة أو البنكرياس. وكانت العمليات الجراحية التي تجرى لاستخراج الحصى خطرة ومؤلمة، وترتبط بالتخدير العامّ والإقامة الطويلة في المستشفى.

وفي وقت لاحق، استخدمت الموجات فوق الصوتية في تفتيت الحصى على نحو يغني عن العمليات الجراحية. أما الأجهزة الحديثة، فتستخدم الأشعة لتحديد موضع الحصاة وتفتيتها في زمن قصير، من دون ألم أو حاجة إلى التخدير.

زراعة الأعضاء Organ transplantation

يقصد بها استبدال عضو أو نسيج سليم بعضو أو نسيج مريض. ويؤخذ العضو أو النسيج الحيّ من إنسان مُتوفّى حال الوفاة، أو من شخصٍ حيّ متبرّع؛ كما هي الحال في زرع الكُلية.

وقد مكّن التقدم الطبي من زرع أعضاء مختلفة، كالقلب والكُلية والكبد والجلد والقرنية. وهُنا نشير إلى ضرورة الضبط المناعي، لئلاّ يرفض الجسم العضو أو النسيج المزروع فيه.

ومن عمليات الزّراعة أيضًا: زراعة الحلزون في الأذن الداخلية لعلاج الصّمم، وزراعة مفصل الرُكبة أو الفخذ؛ وزراعة العدسات. وتعدّ عملية ترقيع القرنية أو زراعتها، إلى جانب زراعة العدسات، الأكثر رواجًا؛ فهي تعيد البصر المفقود، وتنقل الشخص من دائرة الاعتلال ومكابدة السّقم إلى رحاب الصحة والتنعُّم بجمال الحياة. أما الدّماغ والأعصاب والعين الكاملة، فما زالت زراعتها متعذّرة حتى الآن.

لقد كان جرّاح العيون البريطاني هارولد ردلي أول من زرع عدسة في عين لاعدسية عام ١٩٤٩؛ وذلك لتصحيح مدّ البصر الشديد، الناتج عن استخراج السّاد. وما زال ردلي على قيد الحياة؛ وكُرّم مرات عدة، كان آخرها منحه ميدالية ذهبية من الجمعية الأوروبية لجرّاحي السّاد وتصحيح البصر، في ڤيينّا، عاصمة النمسا، عام ١٩٩٩.

وفي العيون ذات العدسات السليمة، تُصحّح اختلالات البصر، من حسْر ومدٍّ وحَرَج؛ بوضع عدسة في البيت الأماميّ أو البيت الخلفيّ، أو تعليقها على سطح القزحيّة بكلاليب، تُثبَّت في نسيج القزحيّة أو تُدفن في القرنية ويخاط نسيج القرنيّة حولها.

وتصنع العدسات المستخدمة لتصحيح اختلالات الانكسار من الجيلاتين المحتوي على الماء Hydrogel. وتكون طريّة؛ بحيث يُمكن طيُّها لإدخالها بواسطة ملقط صغير من خلال جرح صغير جدًا في الصلبة أو القرنيّة، ووضعها في البيت الخلفي وراء القزحية والبؤبؤ. أمّا مادّة الأكريل، فتصنع منها عدسات صُلبة يمكن زراعتها في البيت الأماميّ؛ وترتكز في هذه الحالة على نقط محيطية في القزحيّة. وأمّا عدسات السيليكون المنفّذة للأكسجين، فتكون طريّة؛ بحيث يسهل طيّها وزراعتها في البيت الخلفيّ بواسطة ملقط صغير رفيع النهايات.

وثمّة عدسات تُنحت من قرنيّة العين البشرية بعد تجميدها؛ وتعاد إماهتها قبل زرعها في قرنية الشخص المصاب.

علاج العقم والاستنسال الصناعيّ

أدّى التقدم الطبيّ إلى التمكُّن من معرفة جنس الجنين وعدد الأجنّة في الرّحم، واكتشاف الأمراض التي تصيب الجنين في الرّحم ومعالجتها؛ مثل تغيير دم الجنين وهو في رحم أمّه. وأمكن علاج الكثير من حالات العقم، بعد أن كان ذلك يدخل في نطاق المعجزات. وبذلك، استحالت حياة الكثيرين من الشقاء واليأس إلى السعادة والأمل؛ حين رُزقوا أطفالاً بعد أعوام من الانتظار.

اصطدمت التكنولوجيا المتعلقة بعلاج العقم بالشرائع الدينية والتقاليد الاجتماعيّة؛ وكان مجرّد الحديث عنها ضربًا من المحرّمات. لكنّها ما لبثت أن شقّت طريقها، وأصبحت مألوفة للكثير من الناس.

ويمكن تكوين البويضة الملقّحة تلقيحًا اصطناعيًا في أنابيب زجاجيّة؛ ثمّ تعلق البويضة بعد حقنها في القسم الأخير من أنبوب فالوپ، وهي في مراحل انقسامها الأولى بالرّحم؛ فيحدث الحمل.

وفي حالات أخرى، تُحضن البويضة الملقّحة في رَحم غير رَحم المرأة التي أخذت البويضة من مبيضها؛ أو تلقّح البويضة بحيوان منويّ أخذ من ذكر غير الزّوْج. وهذا قد يتسبب في الكثير من المشكلات؛ كأن تصر صاحبة الرّحم المستأجَر على الاحتفاظ بوليدها وتمتنع عن تسليمه لأبويه، صاحبي البويضة الملقحة.

أما الاستنسال الصناعيّ، فكان ثورةً بحقّ. ففيه تولّد بويضة لم تُلقَّح بالطريقة المألوفة التي تتمثل في اندماج حيوان منويّ ذكريّ مع بويضة أنثويّة؛ لكنْ عن طريق تفريغ محتويات النّواة البيضيّة في خليّة جسديّة جُرّدت من نواتها وأبقي فيها على المصورة، ثم زرعها في رحم أنثى غير تلك التي أخذت البيضة منها؛ ما يؤدي إلى تكوُّن حيوان كامل حيّ مشابه في صفاته للحيوان الذي أخذت الخلية الجسدية منه. وإذا طُبّق ذلك على الإنسان، فسيؤدي إلى إنتاج أجيال مقنّنة جنسيًا وعنصريًا؛ مع كل ما يصاحب ذلك من خلل اجتماعيّ وفوضى بشرية من الصعب معرفةُ ما ستؤول إليه.

إنّ الاستنسال البشريّ من شأنه أن يقود إلى فوضى تكاثريّة، وإلى إنتاج أجيال من الجنس البشري موسومة بصفات متخيَّرة. ولا يُستبعد أن يعود الرّقّ والاستعباد مرّة أخرى.

خياطة الجروح وأيقاف النّزف

كان الطبيب العربي المسلم أبو القاسم الزهراوي أوّل من خاط الجروح بخيوط من أمعاء الخراف. وطرأت تحسينات كثيرة على صناعة الخيوط الجراحية؛ فاستخدمَ في صناعتها الحرير الطبيعيّ والنايلون والپوليستر. ثمّ أصبحت الخيوط تغطى بمواد سُكّريّة هُلامية تعطي نسقًا أملس، من دون تهييج الأنسجة الحية التي تخاط بها. وهذا من شأنه أن يسرّع في شفاء الجروح والتئامها، ويعطيها شكلاً أحسن. ومن بدائل الخيوط

الجراحية: الكلاليب المعدنية الصغيرة التي تمسك بشفتي الجرح وتبقيهما متماستين حتى يلتئم؛ إلى جانب اللّواصق الصمغيّة النسجيّة التي تُرشّ على الجروح أو تُدهن بها الجروح من دون حاجة إلى الخياطة. والأخيرة كثيراً ما تستخدم في الأطفال، وفي جروح القرنية.

وقد مكّنت التكنولوجيا الطبية من التوصل إلى طرق تغني عن الخياطة واللصق؛ وذلك، بإحداث جروح صغيرة جداً تلتئم بغير خياطة؛ كما في جراحة العين، والجراحة التنظيرية في البطن، والجراحة المتعلقة بالأمراض النسائية، وجراحة الدماغ، وتفتيت الحصى بأجهزة الموجات فوق الصوتية.

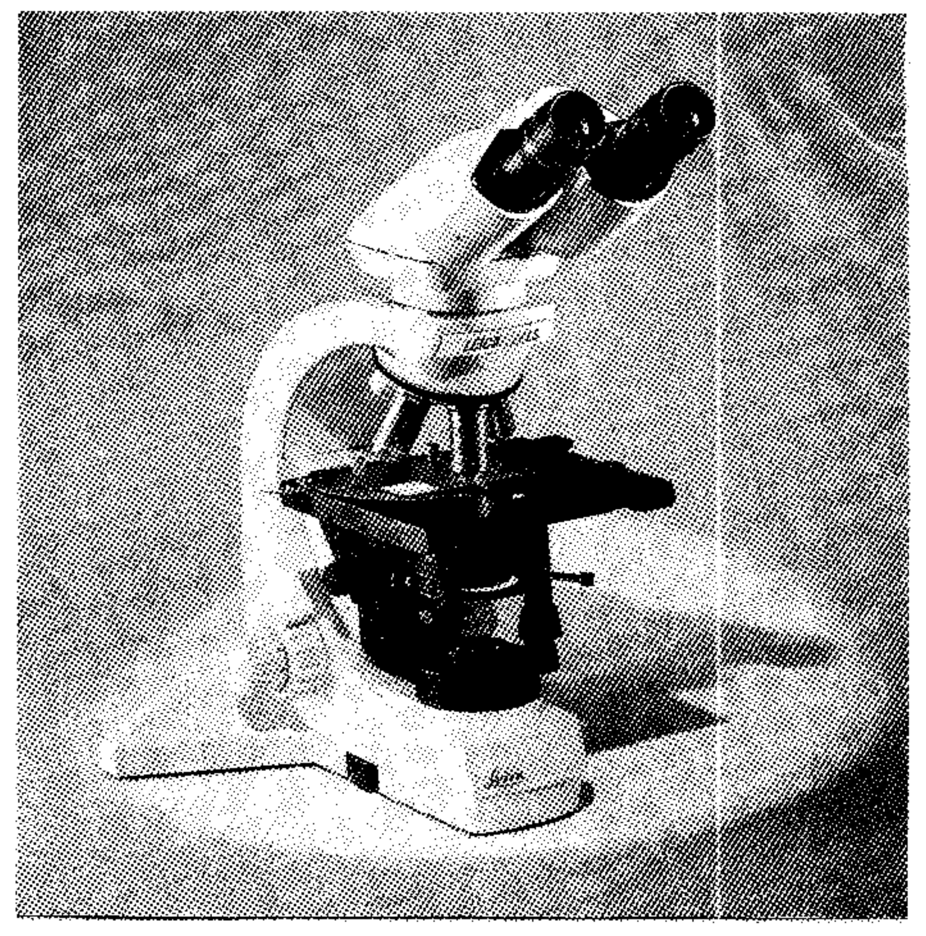
أمّا النُّزوف، فكانت تُرقأ قديمًا بالضغط اليدويّ والكيّ بالحرارة وربط العروق الكبيرة. وفي أيامنا هذه، تستخدم تقنيات أخرى؛ مثل: التخثير الحراري والكهربائي والضوئي. إضافة إلى التخثير بموجات الراديو وأشعة الليزر؛ إذ تُسلط أشعة الليزر على المنطقة النّازفة، فتبيد العروق الدموية فيها، خاصّة تلك العروق الطُّفيلية التي تتكون على سطح شبكية العين.

المجهر الجراحيّ

في مطلع القرن الماضي، كان المجهر صغيراً وبدائيًا ووحيد العين؛ بمعنى أنّ الإنسان ينظر عبره بعين واحدة، لأنّ له عدسة مكبرة واحدة. وكان تكبيره متواضعًا، وعدسته لا تخلو من الزّيغ وغيره من نقائص العدسات. وتحسّن المجهر لاحقًا؛ فأصبح ذا عينين، وازداد وضوحه وحدّته الضوئية، وأمكن بواسطته رؤية الأشياء في ثلاثة أبعاد. كما استُخدمت فيه عدسات غير كروية على شكل قطعٍ مكافئ، تخلو من الزّيغ الكرويّ والتأثيرات الموشورية المسببة للزيغ اللونيّ.

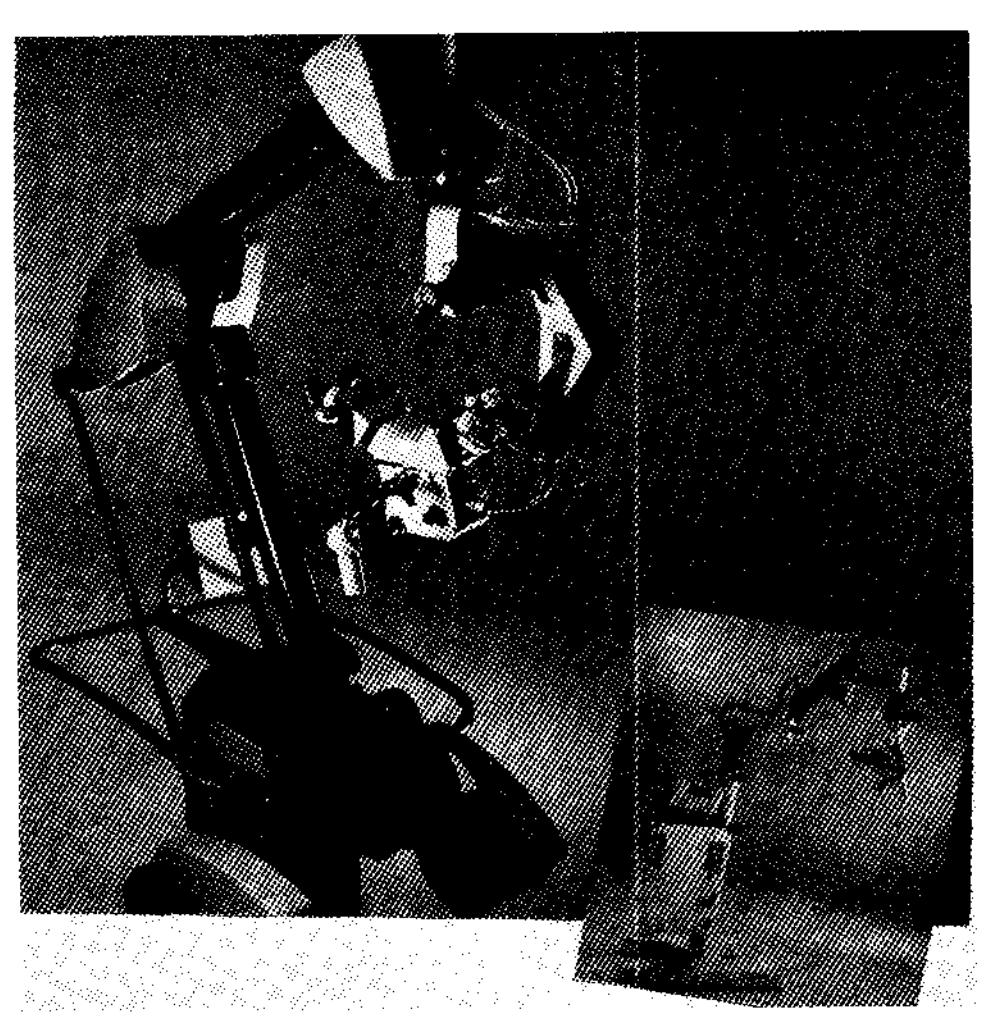
وفي ستّينيات القرن العشرين، ظهر المجهر الإلكترونيّ الذي أمكن بواسطته النظر إلى تفصيلات غاية في الدّقة، تصل إلى أجزاء من الميكرون؛ كأجزاء الخليّة. وبواسطته استطاع العلماء دراسة الفيروسات الممرضة التي تعجز المجاهر الكهربائية عن رؤيتها وكشف تفصيلاتها. وفيما بعد، تطوّرت المجاهر؛ فأصبحت جراحية، وغدت

بواسطتها رؤية الأجزاء التشريحية في الأعضاء مثل العين والعروق الدموية ممكنة، وسمحت بإجراء عمليات جراحية دقيقة مرهفة لم تكن ممكنة لولا تكبير المجهر. وابتُكرت المجاهر ذاتية التبئير، التي تُبرمَج لتستجيبَ لصوت الجرّاح: تعلو أو تهبط، ويزداد تكبيرها أو ينقص، حسب أوامره. وتُبرمَج هذه المجاهر على صوت الجرّاح دون سواه؛ فلا تستجيب لغيره. وأصبحت المجاهر تزوّد بآلات تصوير، تنقل الصورة مباشرة من غرفة العمليات إلى شاشة تلفازية، يشاهدها المتدرّبون عن بُعد.

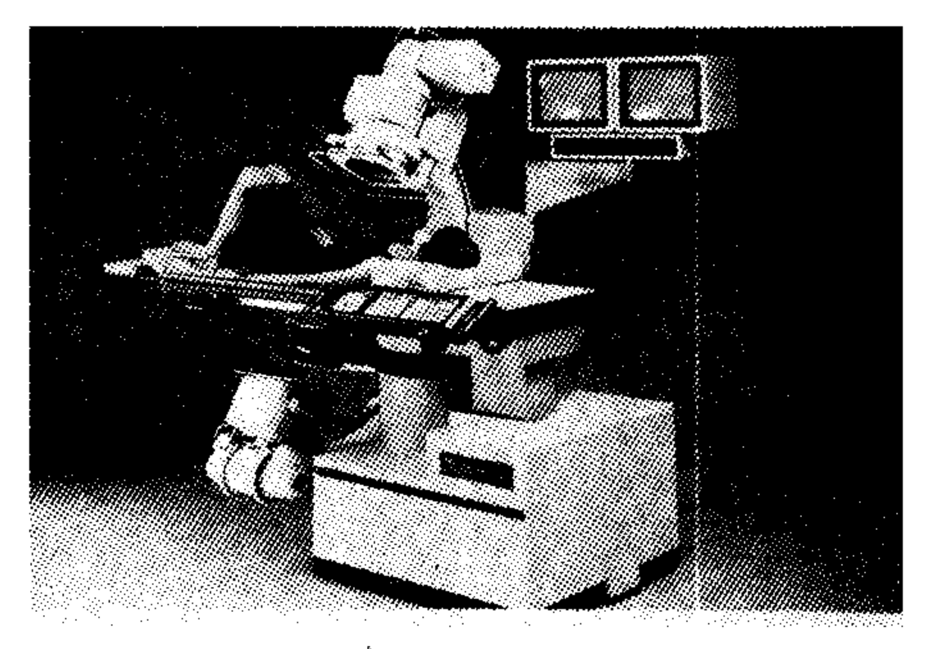


الشكل (٣٦): مجهر حديث متطور يحتوي على ثلاث عدسات مكبرة.

وتكون العدسات ذات قوى تكبيرية مختلفة. ويعطي المجهر صورة موضحة مجسمة. و يمكن النظر فيه بالعينين الاثنتين. ويفيد في شتى فحوصات الأجزاء الصغيرة الميكرونية، وفحص خلايا الأنسجة في الحالات المرضية والعادية؛ وكذلك في فحص الخلايا الدموية.



الشكل (٣٧) : صورة لمجهرين جراحيين متقدمين يستعملان في الجراحة العصبية، وفي جراحة الأنف والأذن والحنجرة .



الشكل (٣٨) : جهاز خاص بتفتيت الحصيات: سواء في الكُلية، أو الحالب، أو القنوات الصفراوية.
ويعمل بواسطة الموجات فوق الصوتية.

الطبّ عن بُعد

رافق التقدُّم في التكولوجيا الطبية تقدّم مماثل في الأجهزة الإلكترونيّة، ووسائل الاتصال، والوسائط السمعية والبصرية. وأصبح باستطاعة الأطباء تقديم المشورة الطبية إلى مرضى يبعدون عنهم آلاف الأميال. ودعت الحاجة الماسّة للوصول إلى الرّعاية الصحية، بصرف النظر عن المكان، إلى إنشاء شبكات تكنولوجية تربط بين مقدّم الرّعاية ومتلقّيها؛ لا سيّما في حالات الكوارث. وعبر هذه الشبكات، تقدم استشارات طبية موثوقة طبقًا للإمكانات المتوافرة لدى المتلقّي. وتهدف هذه الشبكات أيضًا إلى تدريب طواقم الإنقاذ على التصرف الصحيح في الحالات الطارئة، وإلى رفع مستوى الخبرات التقنية للمساعدين الطّبّيّين الذين يقدمون العون للمرضى والمتضرّرين.

من ناحية أخرى، تمكّن هذه الشبكات من تبادُل الخبرات الطبية، وعقد المؤتمرات الطبية عن بُعد.

الفصل العاشر

العلوم الزّراعيّة

أ. د. طالب أبو شرار



العلوم الزراعيّة

الأستاذ الدكتور طالب أبو شرار

«وكلما أعرت الكتاب على الأيام بصري، وأعدت فيه نظري، تبيّنت مصداق ما قرأته في بعض الكتب : إنّ أول ما يبدو من ضَعف ابن آدم أنّه لا يكتب كتاباً فيبيت عنده ليلة إلاّ أحبّ في غدها أن يزيدَ فيه أو ينقص... هذا في ليلة؛ فكيف في سنين عديدة؟»

الثعالبي (يتيمة الدهر)

مقدّمة

يقول الفيلسوف الدنماركي كيركيغور Kierkegaard : «**يمكن فهم الحياة فقط بالنظر إلى الوراء؛ لكن معايشتها لا تتأتى أبدا إلا بالتقدم إلى الأمام**».

توضح هذه المقولة الرائعة أهمية مراجعة الإنجازات الإنسانية بين الفينة والأخرى، لأن ذلك يطوّر فهمنا لذاتنا ولمحيطنا الذي نتأثر به ونتفاعل معه. فإذا كان الحال كذلك، فإن المرحلة الزمنية من عمر البشرية الممتدة عبر القرن العشرين ربما تكون أهم مرحلة في تاريخ تطور الإنسان وانفتاحه العقلاني على ذاته ومحيطه الأرضي والكوني. لقد شهد هذا القرن إنجازات علمية وتحولات جذرية تفوق أضعاف التحولات التي عاشها الإنسان منذ تعلّمه

الكتابة. ففيه تم اختراع الطائرة والصاروخ، وإطلاق الطاقة الذرية من قُمقُمها، واجتياز جاذبية الأرض إلى كواكب أخرى وهبوط الإنسان على سطح القمر، واختراع الحاسوب، وزراعة الأنسجة النباتية، وزراعة الأعضاء البشرية، وتحقيق الاستنساخ، وهندسة الجينات. لذلك، كان لا بد من وقفة للتأمل والنظر الى الوراء ربما مراراً وتكراراً ونحن نرقب مشرق السنوات الأولى من القرن الحادي والعشرين.

هذا من جهة، ومن جهة أخرى فلربما كانت مراجعة الإنجازات البشرية في مجال العلوم الزراعية واحدة من أصعب المهمّات، لأن الحديث عن العلوم الزراعية يعني التطرق لمجمل العلوم الطبيعية، بدءا بالعلوم الحياتية وانتهاء بغزو الفضاء الذي حتّم تطوير معارف زراعية جديدة هي من أهم سمات القرن العشرين. ومن هذه المعارف نمو النبات والحيوان ضمن منظومة حيوية معقدة تضمّ الإنسان والحيوان والنبات على متن مركبات الفضاء، أو على سطح القمر، أو سطح كوكب آخر يفتقر إلى جو كجو الأرض؛ ما يستدعي تطوير برمجيات حاسوبية معقدة تعالج مُدخلات هذه المنظومة ومُخرجاتها، ومختلف العوامل المؤثرة فيها من ضوء وحرارة ورطوبة نسبية وغازات وغيرها.

إن هذه القفزة النوعية الكبرى في مجال مجموعة علوم تطبيقية (تسمى العلوم الزراعية)، لا يجمع بينها سوى الهدف المشترك المتجسد في إنتاج الغذاء والحفاظ على حيوية المنظومة البيئية الأرضية، إنما هو تجسيد حي لواحدة من أهم سمات المعرفة التي تطورت في النصف الثاني من القرن العشرين؛ وهي التداخل المعرفي Interdisciplinary approach. لقد أدى ذلك، في فترة مبكرة من القرن العشرين، إلى تضافر جهود علماء مختصين في حقول معرفية متباعدة من أجل غاية مشتركة لا أجد مثالا يجسّد نجاحاتهم أفضل من تحققّ ما عرف بـ «الثورة الخضراء» في نهاية عقد الستينيّات من القرن العشرين. يقول نورمان بورلاو Norman Borlauo، الفائز بجائزة نوبل للسلام عام ١٩٧٠ (Borlauo, 1970)، الذي كان يعمل رئيسا للبرنامج الدولي لبحوث القمح وإنتاجه، التابع للمركز الدولي لتطوير الذرة الصفراء والقمح في مدينة (مكسيكو سيتي) المكسيكية: «**استُخدم تعبير الثورة الخضراء من طرف**

الصحف الشعبية في الأعوام (١٩٦٨ ـ ١٩٧٠) للدلالة على الطفرة في إنتاج الحبوب (القمح والأرز والذرة الصفراء)». إن وصف سلسلة من الإنجازات العلمية بالطفرة أو بالثورة إنما هو محاولة للتعبير عن هرمية ذلك الإنجاز. والحقّ أنّ الزيادة في الإنتاج لم تتوقف عند المحاصيل الثلاثة السابقة، وإنما تعدتها إلى المحاصيل كافة، خاصة البقولية منها كالعدس والحمص والفول وفول الصويا، التي ساهمت إلى حد كبير في تحقيق الأمن الغذائي للجنس البشري، لا سيّما في أقطار العالم المتقدم. على سبيل المثال، رُغم تناقص كل من المساحات الزراعية وعدد العاملين في الزراعة في الولايات المتحدة الأمريكية، فقد حقق المزارع هناك طفرة كبرى في الإنتاج الزراعي؛ إذ كان ذلك المزارع في العام ١٩١٠ قادرا على إطعام سبعة أشخاص إضافة إلى نفسه؛ لكنه في العام ١٩٨٢ صار قادرا على إطعام ٧٨ شخصا (Janick, 1986). بالطبع، يعود هذا الإنجاز في المقام الأول إلى التطور العلمي الهائل والتكنولوجي الذي جعل أولى مشكلات القطاع الزراعي الأمريكي كيفية تصريف فائض الإنتاج. ولتوضيح ذلك، كانت الزيادة في الإنتاج الزراعي الأمريكي بين العامين ١٨٨٠ و ١٩٢٠ ترجع بالدرجة الأولى إلى الاستثمار في استصلاح مزيد من الأراضي وزراعتها، وكانت إنتاجية وحدة المساحة الزراعية ثابتة تقريباً.

وعلى نقيض الأقطار الصناعية المتخمة بالغذاء، كان هنالك جوع في كثير من أقطار العالم الثالث (خاصة في الأقطار ذات الكثافة السكانية المرتفعة كالهند والباكستان، اللتين تمثل العمالة الزراعية فيهما نحو ٧٠٪ إلى ٨٠٪ من مجموع القوى العاملة) بسبب معدلات الزيادة السكانية التي فاقت الزيادة السنوية في إنتاج الغذاء. كانت معضلة زيادة الإنتاج الزراعي ذات تشعبات متعددة الوجوه. ففي بلاد ذات وجود إنساني قديم، كانت الأرض الزراعية متعبة ومستنزفة من عناصرها الغذائية، وتعاني من مشكلات إضافية كالانجراف والتملح؛ ما أدى إلى انخفاض إنتاجيتها إلى حد الكفاف.

لم تكن الثورة الخضراء ضربة حظ اعترضها أحد العلماء في إحدى تجاربه؛ بل كانت نتاج تضافر جهود حشد من العلماء في حقول معرفية مختلفة، من أهمها بحوث

العلماء في المكسيك التي استمرت قرابة عقدين من الزمان، أدّت إلى إنتاج أصناف القمح المكسيكي المتقزّم وتطوير حزمة من تكنولوجيا الإنتاج تسمح لتلك الأصناف ذات الإنتاجية المرتفعة بأن تعبر عن إنتاجيتها الوراثية الكامنة التي تصل إلى ضعفي أو ثلاثة أضعاف إنتاجية أفضل الأصناف الكلاسيكية الطويلة الساق. لقد ترتب على ذلك زيادة ملحوظة في إنتاج الحبوب. ففي العام الذي سبق الثورة الخضراء مباشرة (الموسم الزراعي ١٩٦٤-١٩٦٥)، كان إنتاج الباكستان من القمح قياسيا؛ إذ بلغ ٦,٤ مليون طن. لكنه ازداد في الأعوام الثلاثة الممثلة لباكورة انتهاج مدخلات الثورة الخضراء (١٩٦٨-١٩٧٠) إلى٧,٦ و ٧,٢ و ٨,٤ مليون طن، على التوالي، وأصبحت باكستان لأول مرة في القرن العشرين (بل في تاريخها) مكتفية غذائيا فيما يتعلق بإنتاجها من القمح اعتبارا من العام ١٩٦٨. وفي الهند، فإن الأرقام المقارنة كانت قبل الثورة الخضراء١٢,٣ مليون طن على التوالي، ازدادت إلى ١٦,٥ و ١٨,٧ و ٢٠,٠ مليون طن في الأعوام ١٩٦٨-١٩٧٠. واقتربت الهند في تلك الفترة القصيرة من اكتفائها الغذائي الذي تحقق لاحقا.

لم يتوقف استنباط الأصناف العالية الإنتاجية عند القمح المكسيكي المتقزم؛ بل تطور ليشمل أصنافا محلية أكثر تأقلما لظروف شبه القارة الهندية المناخية والبيئية ولصفات التربة هناك، وأكثر مقاومة للآفات الحشرية والفطرية السائدة في تلك البيئة الإنتاجية. كما شملت برامج البحث استنباط أصناف متقزمة من الأرز العالية الإنتاجية؛ ما استدعى تطوير برامج سمادية تفي باحتياجات تلك الأصناف من العناصر الغذائية. ترتب على كل ذلك زيادة كفاءة استعمال الأسمدة. فعلى سبيل المثال، كانت الأصناف الكلاسيكية الطويلة الساق تنتج في المتوسط عشرة كيلوغرامات من حبوب القمح لكل كيلوغرام من النتروجين السمادي؛ ثم ارتفعت كفاءة استعمال الأصناف المتقزمة لتصبح ٢٥ كيلوغراما من حبوب القمح لكل كيلوغرام من النتروجين السمادي المضاف.

وإضافة إلى الإنجازات المهمة في مجالي الوراثة وخصوبة التربة، كان لابد من تحديث تقنيات المكننة الزراعية؛ إذ لم تعد تفي بالحاجة عمليات الدراس التقليدية

المعتمدة على الدراسة الخشبية التي تجرها الثيران. وكان لا بد من إنتاج مئات الآلاف من مكائن الحصاد الصغيرة لتلبي احتياجات المزراعين المتزايدة. ترتب على ذلك انتفاء الحاجة إلى الجهد الحيواني للحصول على الشغل، واستثمرت حيوانات المزرعة في غايات أخرى، أهمها المساهمة في إنتاج المزيد من الألبان ومشتقاتها ومن اللحوم الحمراء.

لم تكن تلك الإنجازات نتاج فرد أو مجموعة أفراد؛ بل كانت نتيجة جهود مؤسسية إقليمية ودولية ابتدأت في المكسيك، ثم انتقلت إلى الهند والباكستان، وانتشرت بعد ذلك في أرجاء العالم المختلفة. وللدلالة على أهمية العمل المؤسسي في مجال الإبداع العلمي الزراعي، ندرج أدناه أسماء بعض تلك المؤسسات التي لا تزال تُغني المعرفة العلمية بإنتاجها:

- برنامج البحث والتدريب التعاوني الذي أنشيء في المكسيك في العام ١٩٤٣ لزيادة إنتاج الحبوب هناك، التي لم تكن تفي آنذاك بأكثر من نصف احتياجات ذاك البلد.

- برنامج عموم الهند لتحسين إنتاج الحبوب الذي أسس استجابة لمعطيات الثورة الخضراء.

- المعهد الدولي لأبحاث الأرز IRRI الذي أسس في لوس بافيوس في الفلبين عام ١٩٦٠.

- المركز الدولي لتحسين الذرة الصفراء والقمح CIMMYT الذي أنشيء في المكسيك عام ١٩٦٣ بدعم من مؤسستي فورد وروكفلر الأمريكيتين؛ ثم من المؤسستين المذكورتين ومن وكالة الإنماء الدولي الأمريكية وبرنامج الأمم المتحدة للتنمية UNDP وبنك التطوير للأمريكتين.

- المركز الدولي للزراعة المدارية CIAT الذي أسس في كولومبيا.

- المعهد الدولي للزراعة المداريةIITA الذي أنشيء في نيجيريا.

- منظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO.

ـ المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة ACSAD ، ومركز البيئة والتنمية للإقليم العربي وأوروبا CEARE .

ـ المركز الدولي للدراسات الزراعية المتوسطية المتقدمة CIHEAM .

اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا ESCWA .

ـ برنامج الأمم المتحدة للتنمية UNDP .

ـ برنامج الأمم المتحدة للبيئة UNEP .

ـ المجلس الدولي لزيت الزيتون IOOC .

بالطبع، لا يمكن إغفال دور الجامعات في هذا الصدد، التي تنتج العقول العلمية وترعاها حتى تنضج، ثم تتعهدها أو تطلقها لكي تمارس دورها الإبداعي خارج أسوارها.

وكما أسلفنا، فإن التأريخ للعلوم الزراعية قد يكون واحدا من أصعب المهمّات لأنه يتطلب التصدي لعدد كبير من المعارف في مجالات العلوم الطبيعية والحيوية والهندسية والاجتماعية. وللتبسيط، نعرض بإيجاز لأهم المنجزات العلمية في الحقول الآتية :

١ . الآلات الزراعية .

٢ . الإنتاج النباتي وعلاقة النبات بالماء .

٣ . آفات النبات .

٤ . تربية النبات .

٥ . زراعة الأنسجة .

٦ . الإنتاج الحيواني .

٧ . الصناعات الغذائية .

٨ . التربة .

٩ . الري .

١٠ . التربة والمياه والبيئة .

١. الآلات الزراعية

كانت الإنجازات العلمية والتكنولوجية في هذا الحقل متدرجة. وجاءت استجابةً لتطور المعرفة في حقول أخرى، أهمها الهندسة الميكانيكية، ولبروز الحاجة إلى آلات جديدة ذات وظائفَ محددة، لكنها غالبا ما تعتمد في عملها على الجرّار الزراعي. وعليه، يمكننا تركيز الانتباه على أهم المنجزات التي شهدها القطاع الزراعي منذ الاستبدال بالقوة الحيوانية آلات الاحتراق الداخلي في العشرينيّات من القرن العشرين. وربما الأجدى أن نشيرَ إلى بدايات استخدام الآلة في العمليات الزراعية حسب تسلسلها الزمني.

شهد القرن التاسع عشر اختراع القطّاعات (Salmon, 1807)، والحصّادات (Ogle, 1822)، والجزّازات (Patrick Bell, 1826)، وبخّاخات البخار (J.W. Fawkes, 1858)، وآلات الاحتراق الداخلي (N.Otto, 1876). في العام ١٨٨٩، اختُرع أول جرّار زراعي مزود بمحرك يعمل اعتماداً على طاقة الاحتراق الداخلي، التي ما زالت القوة المحركة في كل آلات القوى المعاصرة، باستثناء تلك التي تستمد تشغيلها من مصادر طاقة غير تقليدية، كالطاقة المتجددة (الرياح، ومساقط المياه، وما شابهها) أو الطاقة النووية. ولم يُجرّب ذلك الجرار حتى العام ١٩٠٨؛ حيث بوشرت في مدينة وينيبغ Winnipeg الكندية أولى محاولات الحراثة الميكانيكية، اعتماداً على قوة الاحتراق الداخلي. تلت ذلك تطويرات على وظائف الجرار للارتقاء بكفاءة أدائه، أهمها إدخال مبدأ الحصول على الحركة الدورانية من مؤخرته (١٩١٥ ـ ١٩١٩)، ثم تطبيق ذلك على صعيد تجاري (١٩٢٥ ـ ١٩٢٩). وفي الفترة (١٩٣٠ ـ ١٩٣٧)، بدئ باستخدام محركات الديزل في الجرارات الزراعية، واستبدلت بإطاراتها المعدنية إطارات المطاط المنفوخ هوائيا المستخدَمة حاليا. تلا ذلك، في الفترة (١٩٣٧ ـ ١٩٤١)، إدخال نقاط الشبك الميكانيكي على محور الجرار ليصار إلى تنويع استخداماته؛ من ذلك الحصول من محرك الجرار على قوة ميكانيكية متشعبة الاستخدامات في مجالات ضخ المياه والحصول على الطاقة الكهربائية، وحفر التربة والحصاد والدراس، فضلا عن الحراثة. وفي عقد الخمسينيّات، طُوّر مبدأ القابض

الخاص بتشغيل محور الدوران الخلفي بشكل مستقل عن حركة الجرار؛ ما مكّن الجرار من إنجاز أكثر من وظيفة في آن.

وحُقّقت أيضاً إنجازات متلاحقة في مجال تطوير كفاءة محرك الجرار الزراعي وتنويع قدراته؛ وهي تطويرات مرتبطة بالتقدم السريع في تكنولوجيا المحركات. على سبيل المثال، خلال عقد الستينيّات، انبرى فريق من الخبراء الزراعيين والمهندسين الزراعيين الأمريكيين لمهمة تطوير مكائن قطف آلية لثمار الخضار والفواكه. وبحلول عقد الثمانينيّات، كانت هنالك آلات متخصصة لقطف قائمة طويلة من ثمار محاصيل مختلفة تضم: البندورة التصنيعية، والخضار البرعمية، والثمار الدرنية، والأعناب، والأشتال، واللوزيات، وحتى ثمار الفراولة. إضافة إلى ما تقدم، نعرض فيما يأتي بعض أهم المنجزات الميكانيكية الزراعية، تبعاً لما أوردته نشرة إلكترونية صادرة عن جمعية المهندسين الزراعيين الأمريكيين ASAE:

- في العام ١٩٤٣، استخدم أول قاطف تجاري Old red لألياف القطن في وادي واكين في كاليفورنيا؛ مؤذنًا بتحولات اقتصادية كبرى في مجال صناعة القطن منذ اختراع المغزل.

- في العام ١٩٤٠، شُغّلت أول آلة حصاد وكبس أعلاف أتوماتيّة في العالم، أنتجتها شركة New Holland Machine، بناء على تصميم أعده مزارع من مقاطعة لانكستر في ولاية بنسلفانيا الأمريكية.

- في العام ١٩٢٣، أُجريت بنجاح، لأول مرة، في Burr Ridge بولاية إلينوي الأمريكية، تجربة لحراثة حقل مزروع على خطوط باستخدام الجرار.

- في العام ١٩٢٠، حدثت ثورة تكنولوجية في مجال تعليب المواد الغذائية بإدخال نظام التعقيم بالضغط الدوراني المستمر على يد ألبرت ثومسون، كبير مهندسي شركة Anderson-Barngrover، في مدينة سان هوزيه بولاية كاليفورنيا الأمريكية.

- اخترع جيمس لَف James E. Love وهوراس هيوم Horace D. Hume في الفترة (١٩٣٢ ـ ١٩٣٥) الآلة المعروفة باسم:

Hume-Love floating cutterbar and pickup reel،

التي صُممت أصلا لحصاد البازيلاء آليا! لكنها استخدمت لاحقا في حصاد محاصيل أخرى، مثل العدس وفول الصويا.

- في العام ١٩٢١، بوشر، لأول مرة، باستعمال الطيران الزراعي لأغراض رش المحاصيل الزراعية، حين استُخدمت طائرة عسكرية أمريكية لرش أشجار Catalpa في ولاية أوهايو.

- في العام ١٩٢٦، أضاف هويل پاوندز Hoyle Pounds إطارا مطاطيا مُصْمتًا لعجلات الجرار الزراعي التي كانت حتى تاريخه عجلات حديدية. وفي العام ١٩٢٩، استخدم هسل رووردا Hessel Roorda الإطارات المطاطية المنفوخة في عجلات الجرار الزراعي؛ الأمر الذي مكّن من حصاد الذرة الصفراء في حقول موحلة.

٢. الإنتاج النباتي وعَلاقة النبات بالماء

يرتبط الإنتاج النباتي بجملة المعارف الإنسانية ذات الأبعاد العلمية البحتة والتطبيقية والاقتصادية والاجتماعية؛ وسنركز هنا فقط على عَلاقة النبات بالماء والتربة. مع أنّ علاقة النبات بالماء كانت أول الحقول المعرفية في مجال فسيولوجيا النبات التي دُرست ابتداء من عصر أرسطو (المتوفى عام ٣٢٢ قبل الميلاد)، فإن التطور الحقيقي لهذا العلم لم يبدأ إلا في منتصف القرن التاسع عشر. ولتوضيح الطفرة في المفاهيم الإنسانية للعمليات الحيوية المائية داخل النبات، يجدر استعراض بعض المفاهيم المغلوطة التي كانت سائدة حتى وقت ليس بالبعيد. على سبيل المثال، كان الاعتقاد السائد أن الماء يتم تدويره في النبات بكيفية شبيهة بالدورة الدموية في الإنسان؛ بل ظل سائدا حتى بدايات النصف الثاني من القرن التاسع عشر الاعتقاد أن النبات يمتص الماء من التربة بواسطة قمة الجذر التي تشبه في عملها عمل الإسفنجة عند انقباضها ثم انبساطها في محاكاة واضحة لعمل القلب.

لم يحدث تغيّر على مثل تلك المفاهيم حتى نهايات القرن التاسع عشر، التي شهدت تطورات جذرية في علم الكيمياء على أيادي مجموعة من الباحثين العلميين المدربين على منهج الاستقصاء العلمي الحديث. على سبيل المثال، وضع فك Fick

عام ١٨٥٥ الأسس الرياضية لقانونه في ظاهرة الانتشار. كما قدم تروب Traube عام ١٨٦٧ وصفا لتخليق غشاء صناعي شبه مُنفذ؛ أي لا يسمح بمرور الجزيئات الصغيرة الذائبة، لكنه يسمح، بالمقابل، بمرور جزيئات الماء. كذلك استطاع فيفر Pfeffer (١٨٧٧) أن يقيس بدقة كبيرة الضغط الأسموزي للمحاليل باستخدام غشاء تروب. ثم أوضح عام ١٩٠٠ أنه يمكن أن يكون للخلية النباتية ضغوط أسموزية مختلفة أسماها ضغط الامتلاء Turgor pressure؛ وهو التعبير الذي ما زال مستخدَمًا للإشارة إلى الضغط الناجم عن مقاومة جدار الخلية النباتية لقمة الدفع الناجمة عن الامتلاء بالماء، بسبب انخفاض الجهد الأسموزي لمحلول الفجوة العصارية في الخلية.

استطاع شُلّ Shull عام ١٩١٦ أن يقيس القوة التي تمسك بها التربة جزيئات الماء بمقارنة كمية الماء الممتصة بواسطة جذور نبات Xanthium نامية في تُرب ذات محتوى رطوبي مختلف بتلك الممتصة بواسطة بذور نامية في محاليل ذات ضغوط أسموزية معروفة. فَي العامين ١٩٣٢ و ١٩٣٥، استطاع كل من ستالفلت Stalfelt وبانغ Bange أن يُوضحَ دور الثغور في الأوراق في التحكم بمقدار النتح. وبحلول منتصف القرن العشرين، تحقّقت نقلة نوعية في مفهوم حركة الماء من التربة إلى النبات ثم إلى الجو، باعتبار الجهد المائي للنبات هو القوة الفاعلة لتلك الحركة وليس الجهد الأسموزي. وبالرغم من صحة المفهوم السابق، فإن التعقيدات العلمية التي صاحبته حالت دون شيوعه حتى بدايات النصف الثاني من القرن العشرين، حين أمكن قياس جهد الماء في النبات بواسطة جهاز المزدوجة الحرارية لقياس رطوبة الجو Thermocouple psychrometer، الذي طوّرته كوكبة من العلماء، أبرزهم: سبانر Spanner عام ١٩٥١؛ وريتشاردز وأوغاتا Richards and Ogata، ومونتيث وأوين Monteith and Owen عام ١٩٥٨.

وشهدت الأعوام الأخيرة من القرن العشرين المزيد من الاهتمام بتأثير العجز المائي في النبات على فسيولوجيا الخلية. فتشير بعض الدراسات إلى أن مثل هذا العجز يؤدي إلى زيادة في نشاط بعض العمليات الإنزيمية؛ في حين يؤدي إلى نقص في نشاط

البعض الآخر. وبفهم الطبيعية الجزيئية لمثل تلك الأنشطة، فإنه سيكون من الممكن هندسة الجينات النباتية لاستنباط أصناف أكثر قدرة على التكيف مع الإجهادات البيئية، كالحرارة والملوحة والصقيع.

٣. آفات النبات

قد يكون من المتعذر تحقيق كل ذلك الإنتاج النباتي المرتفع، خاصة من المحاصيل البستانية، من دون استخدام مبيدات الآفات والأسمدة الكيميائية. ومع ذلك، تقدر الخسارة في الإنتاج الزراعي (على امتداد مراحل الإنتاج والتخزين جميعها) بسبب الآفات النباتية المختلفة (أمراض النبات الفطرية والبكتيرية والفيروسية والحشرية، وآفات الأعشاب والنباتات الزهرية المتطفلة) بنحو ٣٤٪ من مجمل الإنتاج الزراعي العالمي في عام ١٩٩٣ (FAO,1993). لذلك، فإن صناعة الكيميائيات الزراعية أضخم حجما من صناعة الأدوية الصيدلانية. لكن تنامي الوعي البيئي وملاحظة التأثيرات السلبية الناجمة عن استخدام تلك الكيميائيات، مثل تلوث التربة بمتبقيات المبيدات المختلفة، وتلوث المياه الجوفية والسطحية بالمبيدات والعناصر السمادية الكبرى مثل النترات والفسفور؛ كل ذلك أدى إلى مراجعة الفلسفة التي كانت سائدة في العقود الماضية وراء الإفراط في استخدام تلك الكيميائيات لتحقيق غاية واحدة هي زيادة الإنتاج الزراعي بأي ثمن. من هنا، ولتجنب الوقوع في خطأ الاعتماد الكلي على المركبات الكيميائية في التصدي للآفات الزراعية، اعتُمد أسلوب الإدارة المتكاملة لمكافحة الآفات Integrated pest management، الذي يهدف إلى دمج أساليب مكافحة الآفات، وضبط مواقيت إضافة المبيدات وكمياتها، واستنباط الأصناف المقاومة للآفات بجملة تكنولوجيات إضافية، أهمها تجنب عدوى الحشرات والتحكم الحيوي في انتشار العدوى عند وقوعها؛ وفي تلك الحالة، استخدام الكميات الدنيا من المبيدات عن طريق مراقبة أعداد المجاميع الحشرية، وإضافة المبيد المتخصص عند الضرورة القصوى وفي الوقت المناسب. وإضافة إلى المكافحة المتكاملة، تم تطوير أسلوب المكافحة الحيوية لأول مرة عام ١٩٦٣، حين نقلت عدوى فطر حميد إلى أشجار الصنوبر للتغلب على الآثار السلبية الناجمة عن إصابة النباتً بفطر ضار

(Agrios,1977). هذا من جهة؛ ومن جهة أخرى، شهدت العقود الثلاثة الأخيرة من القرن العشرين تطورات ثورية في مجالات استخدام الطرق الجزيئية في تشخيص المسببات المَرَضية Molecular plant pathology. على سبيل المثال، لاحظ علماء أمراض النبات أن البكتيريا المسببة لمرض التعقد التاجي في عدد من العوائل النباتية تُدخل جزءا من مادتها الوراثية إلى خلايا النبات المصاب ليُصبحَ جزءا من مادته الوراثية. أدى هذا الكشف إلى إمكانية حقن جينات غريبة مرغوب فيها إلى داخل خلايا نبات اقتصادي، باستخدام البكتيريا أو الڤيروسات لتطوير صفات نباتية إيجابية، مثل مقاومة الملوحة أو الجفاف أو الأمراض.

علاوةً على التطور التكنولوجي في مجالات إنتاج الأسمدة والمبيدات، انتشرت تكنولوجيات إضافة منظِّمات نمو النبات والمضادّات الحيوية والمركبات الكيميائية المسماة محفِّزات الدفاع النباتي Plant defense activators، التي تعمل على تحفيز النبات لتطوير مناعة طبيعية ضد الطفيليات. وسُوِّق أول مُنْتَج يعمل بهذه الطريقة عام ١٩٩٦ تحت اسم CGA 245704. لقد أصبح الكثير من تلك المدخلات ممارسة روتينية في عالم الزراعة المعاصرة، خاصة في مجالي إنتاج الخضار والفواكه. وفيما يأتي عرض لأهم المنجزات والتطورات في هذا الحقل المتسع:

أ. النيماتودا

ليس هنالك أجمل من اكتشاف علمي يتأتى لعالم يقظ عن طريق الصدفة المحضة. والحديث هنا عن عالم يقظ؛ لأن الحظ لا يواتي سوى صاحب الذهن المتوقد، كما قال شيخ المخترعين في القرن العشرين، توماس ألفا أديسون.

في أوائل الأربعينيات من القرن العشرين، كان الباحث كارتر Carter يعمل في مركز بحوث الأناناس في جزيرة هاواي الأمريكية. وفي إحدى تجاربه حول مكافحة الآفات الزراعية المتوطنة في التربة، أضاف إلى التربة بطريق الخطأ أحد المركبات الكيميائية المعروفة باسم D-D Mixture والمستخدمة في إسقاط أوراق الأشجار، ليفاجأ بنمو نباتي جامح. وبسبب تخصصه في نيماتودا التربة، وهي ديدان مجهرية

تتغذى في غالبيتها على جذور النباتات، فقد فحص محتواها من النيماتودا ليكتشف خلوها تقريبا من تلك الكائنات، التي لم يكن يعرف أنها آفة زراعية تصيب الأناناس. وهكذا، عُرفت تلك المادة مبيداً للنيماتودا عام ١٩٤٣، بعد أن كانت تستخدم لغايات حربية في الجبهة الكورية لإسقاط أوراق الأشجار التي كان الجنود اليابانيون يحتمون بها في الحرب العالمية الثانية.

وبالعودة إلى ما قبل التاريخ السابق، كان الاهتمام بالنيماتودا محدودا باعتبارها ليست آفة زراعية شائعة، مَعَ أنه جرى الكشف عن طبيعتها الطفيلية في حالات محددة تعود أولاها إلى عام ١٧٤٣ على يدي نيدام Needham، الذي أوضح قدرة الصنف *Anguina tritici* على التطفل على جذور القمح (Maggenti,1981). وبسبب الافتقار إلى مبيد متخصص لآفات النبات المتوطنة في التربة، كان من المتعذر تقييم أي ضرر محتمل لتلك الكائنات، لأن المبيدات المتوافرة كانت ذات طيف سمّيّ واسع كفيل بالقضاء على كثير من ميكروبات التربة النافعة والضارة. من أهم تلك المبيدات التي شاع استعمالها بعد الحرب العالمية الأولى: كلوروبكرين Chloropicrin، وهو غاز الأعصاب الذي استخدم في تلك الحرب؛ وغاز بروميد الميثيل المقرر إيقاف استعماله مع بدايات القرن الحاليّ (الحادي والعشرين). وهكذا، فإن الكشف عن الطبيعة الضارة للنيماتودا وتوافر مبيد متخصص قادر على الإجهاز عليها فقط دون غيرها كان فتحا علميا تزامن مع الحاجة المتزايدة لوقاية النبات من الآفات الزراعية التي كانت تفتك بقدرة المحاصيل على إنتاج غذاء وفير. وتلا تعرّف الخصائص الإبادية لمادة D-D Mixture اهتمام متزايد بضرورة تطوير مبيدات إضافية أنتجتها شركات المبيدات والأدوية الكيميائية المتخصصة، عرفت باسم مبيدات النيماتودا Nematocides، كان من أهمها مبيدا BBCP وEDP. وبسبب الخطورة المتزايدة لتلك الآفة، تنامى الاهتمام بدراستها إلى الحد الذي أدى إلى ولادة علم جديد يعرف باسم علم النيماتودا Nematology.

على نقيض المدخل الزراعي لعلم النيماتودا، كانت الدراسات السابقة في هذا المجال تتشاطرها حقول معرفية متعددة، مثل: علوم اللافقاريات، والبيولوجيا العامة،

والتصنيف. وربما تجدر الإشارة هنا إلى أن أهم المكتشفات الإنسانية في مجال النيماتودا تعزى الى مانسن Manson عام ١٨٧٨، الذي أوضح دور البعوض كعائل وسيط للنيماتودا المسببة لمرض الفيل *Wuchereria bancrofti*. وقد حفز هذا الكشف العلمي المثير مزيدا من الاكتشافات المشابهة، مثل دور البعوض كعائل وسيط للطفيليات المسببة لأمراض عدّة، مثل الملاريا والحمى الصفراء.

ب ـ الأمراض الفيروسية

قبل بداية القرن العشرين، كان معنى كلمة ڤيروس Virus مرادفا للسُّمّ Poison. وبحلول القرن العشرين، أخذت الكلمة معناها الراهن، وعرف العلم الذي يتناول هذا الموضوع بأنه علم الڤيروسات Virology. وحسب تعريف بودن Bawden عام ١٩٥٠، فإن الڤيروس عبارة عن طفيل غير اختياري Obligatory، مَرَضي، تقل أبعاده عن ٢٠٠ نانومتر (Lwoff, 1957). وقدجرى تطوير التعريف السابق للتأكيد على جملة مفاهيم، أهمها: صغر حجم الڤيروس، وقدرته الإمراضية، واحتواؤه حَمْضا نوويا، وعدم قدرته على التكاثر خارج الخلايا الحية. بمعنى آخر، فإن علم الڤيروسات هو علم خاص بالقرن العشرين. ومَعَ أن الكثير من البحوث العلمية الخاصة بأعراض الإصابات بالأمراض الڤيروسية نُشر في الفترة الممتدة بين العامين ١٩٠٠ و١٩٣٥، فإن القليل من التقدم أُحرز في ما يتعلق بطبيعة الڤيروس نفسه (Corbett,1964). وربما تكون أهم الاكتشافات في تلك الفترة ملاحظة بقع الإصابة الڤيروسية المميزة على أوراق نبات التبغ، عند حقن ذلك النبات بخلاصة عصير نبات تبغ آخر مصاب بمرض التبرقش الڤيروسي. واستخدمت تلك الطريقة للمعايرة الحيوية كي يُحدّدَ كميّا حجم إصابة النبات بمرض التبرقش الڤيروسي (Holmes, 1929)؛ وما زالت مستخدمة للغاية ذاتها. وفي الفترة نفسها، كان هنالك عمل مميز آخر لپيردي (Purdey, 1929)، الذي أوضح أن النباتات المصابة بمرض ڤيروسي تحتوي على أجسام محفزة للأجسام المضادة Antigenic material، يمكنها تحفيز أجسام الحيوانات الثديية لتكوين الأجسام المضادة Antibodies. لقد أدّى استخدام مضادات الأجسام الڤيروسية في مختلف الفحوصات السيريولوجية

الڤيروسية إلى تطور ملموس في علم الڤيروس النباتي على الصعيدين التشخيصي والمعايرة الكمية الحيوية. على أية حال، كان لا بد من الانتظار حتى عام ١٩٣٥، كي تتحقق أهم الاكتشافات الخاصة بمعرفة طبيعة الڤيروس النباتي نفسه؛ حين استطاع ستانلي W. M. Stanley، الذي كان يعمل على ڤيروس تبرقش التبغ، أن يحصل على ذلك الڤيروس في صورة بلّورات بروتينية. بعد عامين من ذلك الفتح العلمي، أوضح بودن وپيري (Bawden and Pirie, 1937) أن ٩٥٪ من ڤيروس تبرقش التبغ هو بروتين، وأن الـ ٥٪ المتبقية هي حموض نووية. تلت ذلك خطوة أكثر تقدما؛ حين استطاع آخرون (Gierer and Schramm, 1956) و(Markham, 1953) أن يوضحوا دور الحَمْض النووي الڤيروسي في إحداث العدوى المرضية. بعد ذلك، خاصة في الأعوام العشرين اللاحقة، تحقق الكثير من الاكتشافات المتعلقة بالطبيعة الكيميائية والبنائية للڤيروس (Markham, 1977).

جـ - الآفات الحشرية

بفهم الخصائص الحيوية للحشرات، استطاع الإنسان أن يطور وسائل عدّة لمكافحة تلك الآفات، من أهمها: اتباع دورات زراعية معينة لكسر دورة حياة الآفة الحشرية، وتوقيت الزراعة والحصاد، واستنباط الأصناف النباتية المقاومة للتطفل الحشري، واللجوء الى وسائل مقاومة فيزيائية، مثل: التبريد، والتسخين، واستخدام تكنولوجيات إبادة معقدة، كأشعة الميكروويف أو التعقيم بالأشعة السينية أو أشعة غاما، واستخدام المصائد اللونية اللاصقة أو الضوئية أو الصوتية؛ إضافة إلى استخدام المبيدات الكيميائية الحشرية.

من جهة أخرى، استُخدمت هندسة الجينات في مجال المكافحة الحشرية، كما هو الحال في مكافحة حفر الذرة الأوروبي بواسطة نقل الجينات المنتجة للبروتينات السامة للحشرة من بكتيريا *Bacillus thuringiensis* إلى نبات الذرة الذي تتغذى عليه تلك الحشرة (التلفزيون الأردني؛ برنامج وثائقي، ١٩٩٩). كما تمكن العلماء من عزل ما يسمى الفرمونات الجنسية وتعريفها (وهي مركبات كيميائية تطلقها إناث الحشرات

لإثارة الرغبة الجنسية عند ذكورها) لعدد كبير من الحشرات؛ واستخدمت تلك الفرمونات إما لجلب الذكور الى مصائد قاتلة، أو الى أماكن نائية بعيدا عن الإناث للحؤول دون تكاثرها.

لقد استطاع علماء الحشرات استيعاب نظام الهرمونات الحشرية، خاصة هرمون الشباب؛ الأمر الذي مكنهم من إبقاء الحشرة يافعة ومنع نضوجها الجنسي ومن ثم تكاثرها. ومن أهم التطبيقات في هذا المجال: إنتاج مركب شبيه بهرمون الشباب لدى البعوض ترش به البرك والمستنقعات؛ ما يحول دون تطور يرقات البعوض الى حشرة كاملة (Chapman, 1984) و (Wigglesworth, 1984).

د- التثبيط

يُعنى بالتثبيط Allelopathy إفراز جذور النبات مواد كيميائية ثانوية ذات فعل مثبط لنمو نباتات أخرى. لقد دُوّن مثل هذا التنافس بين النباتات منذ مئات الأعوام؛ لكن أول ملاحظة علمية مدروسة تعود إلى دي كاندول de Candolle عام ١٨٣٢. وفي عام ١٨٥٢، أشار ليبغ Liebig إلى مرض التربة الناجم عن إفرازات جذور بعض النباتات، وتوصل الى أن إفرازات عشبة الخرفيش Cirsium تسبب أضرارا لنبات الشوفان Avena، وأن إفرازات جذور الزوان Loliumذات تأثيرات ضارة بنبات القمح، وأن مستخلصات كل من عشبة الحلبوب Lolium وعشبة الثلجية Scabosia ضارة بنبات الكتان.

لم يطرأ أي تطور على تلك المفاهيم حتى عام ١٩٣٧، حين اقترح مولش Molisch استخدام كلمة التثبيط للدلالة على آلية التداخل بين النباتات، بحيث يؤثر أحد النباتات الاقتصادية على إنبات نبات من نوع آخر ونموه. في الفترة التي تلت ذلك، تحققت منجزات مهمّة في هذا المجال تصعب نسبتها إلى شخص محدد (جمال قاسم، ١٩٩٢). على أية حال، تركزت أهم المنجزات في تعرّف هُوية تلك المثبطات كيميائيا، وفي كيفية إطلاقها إلى الوسط المحيط بالمجموع الجذري، حسبما هو موضح في الآتي:

- الأبخرة: وتطلقها نباتات الشيح Atemisia، والكينا Eucalyptus، والسالفيا

Salvia. من أهم تلك الغازات: سيانيد الهيدروجين، والأمونيا، والأثيلين، وأليل زيت الخردل، والكافور. وتُمتص تلك الأبخرة من الأجزاء الهوائية للنباتات المجاورة، أو بواسطة الجذور بعد تكثفها وامتصاصها بواسطة التربة.

- إفرازات الجذور: وهو الأسلوب الأكثر شيوعا؛ إذ تطلق جذور نبات معين مركبات مثبطة تؤدي دورها بمجرد امتصاصها بواسطة جذور نبات آخر. من أهم تلك الإفرازات: الحموض العضوية الأليفاتية، كحَمْض الماليك وحمض الستريك وبعض الحموض الأمينية؛ والحموض العطرية (الأروماتية)، كحَمْض الفيروليك والكافيك والسينيرجيك والفانيليك.

- المركبات الراشحة من الأجزاء الهوائية للنبات، التي يمكن غسلها بواسطة مياه الأمطار أو قطرات الندى، الى التربة السطحية، حيث قد يمتصها نبات آخر. ومن أهم النباتات التي تطلق مركبات راشحة: الأقحوان Chrysanthemum، ونبات الوسن Alyssum، والكاملينا Camelina.

- نواتج تحلل بقايا النباتات، التي يمكنها أيضا أن تثبط نمو نباتات أخرى أو تحفزه.

- أمراض أخرى:

اكتُشفت في القرن العشرين مسببات مرضية إضافية، كالأوليات التي عُزلت من لحاء نبات القهوة وعُدّت السبب الرئيسي في تشوهه؛ والمايكوبلازما التي لاحظها دوي Doi عام ١٩٦٧ في لحاء بعض النباتات المصابة بمرض الاصفرار، التي يمكن معالجتها بالمضادات الحيوية كالتتراسايكلين. كما لاحظ الركتسيا ويندسور وبلاك (Windsor and Black,1972) في لحاء نبات البرسيم، وفي العنب المصاب بمرض بيرس Pierce. وأخيرا لاحظ ديفيز Davis عام ١٩٧٢ وجود كائنات دقيقة لولبية الشكل في نبات الذرة المصاب بمرض التقزم، أطلق عليها اسم البلازما الملتوية Spiroplasma (أبوغربية وآخرون، ١٩٩٤).

٤- تربية النبات

في النصف الأول من القرن التاسع عشر، أرسيت أسس تكنولوجيات التجارب

الزراعية الحقلية والدراسات الوراثية الكمية. وفي تلك الفترة، بدأ باحثون كثيرون إجراء تجارب على طبيعة الخلية الحية ونواتها، واختطوا أساليب البحث الهادفة إلى استنباط أصناف نباتية جديدة. من أولئك العلماء: شيرف Shihirreff، الذي استحصل أصنافا جديدة من الشوفان عام ١٨٢٤ والقمح عام ١٨٣٢؛ ونايت Knight (١٨٣٢)، الذي استطاع أن يزاوج (لأول مرة في أوروبا) بين صنفين مختلفين من القمح؛ وستراسبيرغر Strassburger، الذي قدم لأول مرة وصفا كاملا للكروموسومات؛ والعالم الشهير دارون (١٨٥٨)، الذي نشر كتابه المعروف **«أصل الأنواع بواسطة الانتقاء الطبيعي»** *Origin of Species by Means of Natural Selection*؛ ثم نشر عام ١٨٨٩ كتابه **«تأثير التلقيح الخارجي والذاتي في مملكة الخضراوات»** *Effect of Cross and Self Fertilization in the Vegetable Kingdom*. في هذا المجال، ربما لم يحقق أحد إنجازا في مجال الوراثة مثل ذاك الذي حققه الراهب غريغور مندل Gregor Mendel (١٨٢٢ـ ١٨٨٤)، الذي قام بدراسة علمية موثقة وسليمة في مجال الوراثة لنبات البازيلاء. لقد استطاع مندل، بالمراقبة الحثيثة والمجهدة وبالاستقراء المنطقي، أن يضع عددا من قوانين الوراثة البسيطة. ونشر نتائجه تلك عام ١٨٦٦؛ لكنها بقيت مهملة ولم تثر الاهتمام مدة ثلاثين عاما، إلى أن أعيد اكتشافها عام ١٩٠٠.

منذ ذلك التاريخ، طُوّرت المبادئ التي وضعها مندل عبر الإنجازات المتعدّدة في هذا الحقل. وأدى الكشف عن تقارير مندل إلى وضع الإطار الراهن لاستنباط هجن نبات الذرة الصفراء. فبدأ شُلّ عام ١٩٠٤ تجارب بمزاوجة أصناف من الذرة الصفراء، واستمر في ذلك عن طريق التلقيح الذاتي للحصول على سلالة من الذرة الصفراء ذات قدرة إنتاجية كانت تضمحل كلما استنبط جيلا جديدا منها. لكن، بإجراء التلقيح الخلطي بين سلالتين ضعيفتين، أمكنه الحصول على سلالة تمتاز بقوة الهجين الإنتاجية التي تفوق القدرة الإنتاجية لأي من السلالتين الأبوين. وفي الفترة نفسها، حصل إدوارد إيست Edward East على نتائجَ مشابهة. بعد ذلك، اقترح جونز Donald F. Jones عام ١٩١٨ إجراء تجارب على التلقيح المزدوج Doublecross؛ وهو تلقيح سلالتين

ناتجين بدورهما من تلقيح سلالتين نقيّتيْن استنبطتا من التلقيح الذاتي. وأمكن بهذه الطريقة الحصول على هجن بكُلفة اقتصادية، جعلت من الممكن إكثار الهجين على نطاق واسع، ومكنت المزارعين من الاستفادة من هذه الظاهرة. وامتد هذا الأسلوب الآن ليشمل الحصول على هجن من نباتات الذرة الرفيعة، والقمح، والشمندر، والتبغ، والكثير من محاصيل الخضراوات.

وبالنسبة للمحاصيل العلفية، تحققت إنجازات مهمّة على يدي جنكن T. J. Jenkin من تجاربه في Welsh Plant Breeding Station، التي ابتدأت عام ١٩١٩. وأسس جنكن مفهوم بناء السلالة Strain building، الذي هو نظام تربية تختار فيه نباتات مفردة لتستنبط منها أنواع جديدة اعتمادا على صفاتها الوراثية. وأمكن الآن التحكم بالصفات الوراثية تلك بزيادة عدد الكروموسومات بواسطة الظاهرة المعروفة باسم تعدد المجموعة الكروموسومية Polyploidy؛ بتغيير المادة الوراثية بواسطة تعريض النبات للإشعاعات المؤينة، أو بتحفيز تكوين الطفرات بواسطة المواد الكيميائية أو الأشعة المؤينة.

عند هذه النقطة، يجدر أن نذكر بعض الأمثلة المهمّة من نجاحات تربية النبات التي كان لها أثر كبير على إنتاج الغذاء على صعيد عالمي. وربما يكون أحد تلك الأمثلة راجعاً إلى الصدفة المجردة. ففي عام ١٨٧٣، حملت مجموعة صغيرة من المهاجرين الروس بذور القمح التركي الأحمر الصُّلب، لزراعتها في مستقرها الجديد بولاية كنساس الأمريكية، الواقعة في السهول العظمى الجنوبية. وأثبت هذا الصنف من القمح الصُّلب قدرة فائقة على تحمل الجفاف والصقيع السائدين في المنطقة، وأعطى أيضا إنتاجا مرتفعا من الحبوب. بناء على ذلك، ازدادت المساحات المزروعة بهذا الصنف، وأجريت عليه عمليات تربية استنبط منها صنف القمح الشتوي الأحمر الصُّلب، الذي بنيت عليه صناعة كبرى للدقيق. وقد استهلت مرحلة جديدة في مجال إنتاج الحبوب عام ١٩٤٨، باستيراد الولايات المتحدة من اليابان مجموعة من أصناف القمح القصيرة الساق شبه المتقزمة. وبمزاوجة أحد تلك الأصناف المستوردة المعروف باسم نورن – ١٠ Noren -10 مع الصنف المحلي الأبيض بريڤور Brevor في ولايات

الشمال الغربي المطلة على المحيط الهادي، استطاع ڤوغل Orville A.Vogel أن يطور الصنف القصير المتعدد الأشطاء العالي الإنتاجية المسمّى غينز Gaines، الذي حقق مع أصناف أخرى أرقاما قياسية في إنتاج القمح لم يُحلم بها من قبل. كما زاوج بورلــغ Norman E. Borlaug بين نورن-١٠/ بريڤور وأصناف القمح المكسيكية، وحصل على مجموعة من أصناف القمح القصيرة الساق العالية الإنتاجية، أدخلت لاحقا إلى الهند والباكستان والشرق الأوسط؛ وبذلك لم تعد زراعة القمح همّا محليا، بل أصبحت موضوعا دوليا.

وتجدر الإشارة هنا الى التداخل المعرفي، الذي نجم عنه تطبيق الإبداعات في تربية النبات في مجال آخر هو الطب. وتضاربت بعض الإنجازات العلمية في أساسيات وراثة النبات مع بعض مسلّمات المعرفة في حينه. لكن، عام ١٩٥٠، أوضحت باربرا ماكلينتوك Barbara McClintock إمكانية حركة الجينات على الكروموسومات، وأن تلك الحركة بحاجة إلى جين معين يسمى الجين المحرك Dissociator gene، الذي ينجز هذا العمل بمجرد أن يأمره جين آخر يسمى الجين المنشط Activator gene. كما أن الجين المنشط يستطيع إيقاف أمر الحركة بالطلب إلى الجين المحرك الانتقال الى موقع آخر على الكروموسوم. لقد تطلب الوصول إلى هذه المعلومة أعواماً عدة من العمل الشاق، الذي توج عام ١٩٨٣ بمنح ماكلينتوك جائزة نوبل في الطب، لما لاكتشافها من أهمية تطبيقية طبية.

٥- زراعة الأنسجة

في بداية القرن العشرين، كان لقانون مندل في الوراثة فعل السحر في تسريع وتيرة البحث العلمي في مجالات الوراثة، ووراثة الخلية، وتربية النبات. ففي عام ١٩٠٢، طور دي ڤري De Vries نظرية الطفرة في عملية النشوء والارتقاء. وفي العام نفسه، أوضح بيتسون وپانيت Bateson and Punnett أهمية الرابطة الوراثية باستخدام نبات البازيلاء. وقدم بيفن Biffen تفسيراً وراثياً لمقاومة القمح لمرض الصدأ المخطط، باعتباره صفة لجين مُتَنَحٍّ. وفي العام ١٩٠٥، أنتج شامل Shamel هجينين من الذرة الصفراء بواسطة الإكثار الذاتي لثلاثة أجيال مع هجنها. وفي العام ١٩١٧، أنتج

جونز أول هجين ذرة على صعيد تجاري Burr-learning hybrid .

وبوضع الأسس النظرية لنظريات تربية النبات التقليدية ، انفتح الباب على مصراعيه أمام طرائق جديدة مبتكرة في هذا المجال ، أهمها زراعة الأنسجة . وفي الحقيقة ، تعود بدايات هذا الحقل المعرفي إلى بدايات القرن ذاته . ففي العام ١٩٠٢ ، طور عالم فسيولوجيا النبات الألماني هابرلاند Haberlandt مفاهيم زراعة الأنسجة النباتية التي ما زالت سارية . وجرب هابرلانت هذا الأسلوب على أجزاء نباتية متنوعة تعود الى نباتات مختلفة ، كان يضعها في بيئة غنية بالملح والسكر ويراقب نموها ، الذي انحصر في تمددها من دون انقسام لخلاياها . ودفعته ملاحظاته تلك إلى استنتاجين مهمين :

ـ يتضمن الأول مفهوم إمكانية الكمال Totipotentiality ؛ ما دفعه للقول إنّ أي خلية نباتية تكون لديها المقدرة لأن تتطور إلى نبات كامل . كما تنبأ بأن العاملين في هذا الحقل ستكون لديهم القدرة ذات يوم على تحقيق هذه المقولة . وثبتت بالفعل صحة هذه المقولة لاحقا ؛ مع ملاحظة أن لبعض الخلايا النباتية قدرة متميزة على التطور إلى نبات كامل مثل الخلايا المولّدة .

ـ أما الاستنتاج الثاني فيتعلق بفرضية وجود مواد نمو مسؤولة عن حث الخلايا على الانقسام والتمايز ؛ الأمر الذي أمكن تحقيقه لاحقا ، إما عن طريق اكتشاف الهرمونات الطبيعية مثل أندول حَمْض الخل (الذي شُخّص لأول مرة في العام ١٩٣٤ على يدي كل من كوغل ، وهاغان ـ سميث ، وإركسليبين Kogl, Haagan-Smith, and Erxleben) ، أو الكثير من المركبات العضوية المخلّقة صناعيا .

ومن المعروف حاليا أنه ، عند أخذ جزء صغير من نبات يحتوي على أنسجة وزرعه في بيئة سائلة أو صُلبة ، فإن الجزء المقتطع يبدأ في الانقسام والنمو غالبا من دون وجهة محددة فيما يختص بطبيعة النمو هذا ؛ أي لا يحدث تمايز للخلايا النامية لتصبح مثلا خلايا الساق والجذر والأوراق . وعادة يكون مصدر النمو هو الخلايا المولّدة ؛ لكن هذا النوع من النمو لا يحدث في الطبيعة بسبب استعمار البكتيريا الفوري نسبيا لأي جزء مقتطع من النبات . لقد أذهلت هذه الظاهرة العاملين في مجال زراعة الأنسجة عند

ملاحظتها للمرة الأولى: شاهدوا ورماً سرطانياً ينمو من دون اتجاه محدد. وفي الحقيقة، ازداد الاهتمام بهذه الظاهرة، اعتقاداً من العلماء آنذاك بأن سبر غورها سوف يساعد في حل معضلة النمو السرطاني في الإنسان.

تعود بدايات هذا النوع من البحوث إلى عام ١٩٣٤؛ حين تمكن وايت P. R. Whiteمن تحقيق نمو مستمر لجذور الجزر في بيئة مغذية من مستخلص الخميرة. لم يستطع وايت أن يحصل على نبات كامل؛ لكن تمكنه من تحقيق تطور محدود لبعض أجزاء النبات وإعادة زراعتها في البيئة المغذية كان إنجازا بحد ذاته. بعد أعوام من هذا الإنجاز، أمكن تعرّف المادة الفعالة في مستخلص الخميرة، وشخّصت على أنها مادة ثيامين Thiamine؛ أو ما يعرف لدى عامة الناس بفيتامين ب١ (B1). وقد أصبحت إضافتها إلى المحاليل المغذية على صورة ملح هيدروكلوريد الثيامين أمرا روتينيا.

في العام ١٩٣٩، أعلن كل من وايت في الولايات المتحدة وفريق فرنسي منافس يعمل مستقلا عن وايت (Gautheret و Noblecourt) أنه أصبح ممكنا تكثير النبات في البيئة المغذية الجديدة حتى مرحلة تكوين النسيج المسمى كالس Callus، من دون الوصول إلى مرحلة التمايز في خلايا النبات؛ وهي العقبة التي استمرت بعد ذلك لأعوام لم يستطع العلماء خلالها تكثير نبات عادي من نسيج أحد أعضائه. لكن في عام ١٩٤١، أعلن ڤان أوڤر بيك وزملاؤه Van Overbeek *et al.* أنه أصبح من الممكن استحثاث تكوين نسيج الكالس من أجزاء جنين نبات الداتورا Datura، بواسطة عصارة ثمار نبات جوز الهند الشبيهة بالحليب والمعقمة. وسرعان ما أصبح ممكنا الحصول على نسيج الكالس لعدد كبير من النباتات باستخدام العصارة السابقة، مضافا إليها أكسينات نباتية؛ وهي غير محفزات النمو المستخدمة لإحداث التمايز الخلوي في نسيج الكالس المعروفة باسم سايتوكاينينات Cytokinins. لقد تطلب الوصول إلى هذه المرحلة أعواماً إضافية من البحث العلمي الشاق، الذي استمر حتى بدايات الخمسينيّات من القرن العشرين. وتحقّق ذلك على يدي كارلوس ملر Carlos Miller، الذي كان يعمل في مختبرات فولك سكوغ Folke Skoog، التابعة لجامعة وسكنسن الأمريكية، عام ١٩٥٥. منذ ذلك التاريخ، استُبدل بحليب ثمار جوز الهند

مادة الكاينتين Kinetin، وأصبح تركيب المحلول المغذي معروفا جيدا. وفي عام ١٩٥٧، أوضح ملر وسكوغ أنه من الممكن تحفيز التمايز النسيجي للنبات عن طريق زيادة نسبة السايتوكاينين إلى الأكسجين لتنشيط تمايز المجموع الخضري. وبعكْسهما النسبةَ المذكورة، أمكنهما تنشيط تمايز خلايا الجذور. وفي الحقيقة، لا يُعدّ الكَالس خلايا غير متميزة؛ إذ يتكون من مجاميعَ مختلفة من الخلايا تعرف نواها باسم مرستيمويد Meristemoids، ويمكنها التمايز الى خلايا المجموع الخضري أو الجذري.

وأعقب ذلك إنجاز في غاية الأهمية قام بشقّه الأكبر طالب الدكتوراة في جامعة وسكنسن، موراشيغ Murashige، مع أستَاذه سكوغ عام ١٩٦٢؛ ما جعل من الإثنيْن نجميْن عالميّيْن. ووُضع البحث الذي نشراه من أطروحة الدكتوراة في موضع «البحث الأكثر اقتباسا» في حينه. فقد قدم الإثنان وصفا لبيئة مغذية في مجال زراعة الأنسجة تكوّنت من شتّى العناصر الغذائية المعدنية الصغرى والكبرى، ومن الحَمْض الأميني غلايسين، وثلاثة ڤيتامينات مختلفة هي الثيامين والنياسين والپيريدكسين Thiamine, Niacine, Pyridoxine، ومصدر نشوي هو سكر السكروز، ومنظِّمَيْ نمو نباتي هما الأكسجين والسايتوكاينين. وأثبتت هذه البيئة نجاعتها لمجموعة عريضة من النباتات، مع ضبط طفيف في نسبتي منظِّمَي النمو النباتي.

في مجال آخر، استطاع نيكل Nickell عام ١٩٥٦ أن يحصل على خلية أو عدد صغير من الخلايا الحرة الحية، بواسطة تعليق الكالس الخاص بنبات الفول في محلول مغذٍّ عن طريق الرج العنيف. أما بخصوص الحصول على مسحات خلوية من معلّق الخلايا المزروعة على بيئة الآغار، فقد تحقق على يدي بيرغمان Bergmann عام ١٩٦٠؛ ما مكّن لاحقا من فرز الخلايا المفردة بواسطة الغربلة الرطبة وزراعتها على بيئة الآغار للحصول على خلايا مطابقة في صفاتها الوراثية للخلية الأم؛ تماما كما هو الحال بالنسبة للبكتيريا والفطريات. كذلك، تحققت قفزة نوعية إضافية في هذا المجال بواسطة ثلاث فرق بحثية مستقلة عملت على خلايا الجزر. فأمكنها اكتشاف ما يعرف بظاهرة التوالد الجنيني الجسدي Somatic embryogenesis؛ وهي الظاهرة المختصة بتكوين أجنة من الخلايا غير الجنسية، أي أشباه الأجنة والأجنة الجسدية Embryoid

(تمييزاً لها عن الأجنة المنتجة من البويضـة المخصبة Zygote)، or Somatic embryo المفردة والنامية في بيئة غذائية معلقة؛ الأمر الذي مازال حقلا علميا مثيراً، خاصة إذا أخذنا في الحسبان ما يحدث من تطبيق لهذه الظاهرة على الخلايا الحيوانية واستنساخ حيوانات ثديية كالخراف والأبقار. ومن المعروف في هذا الصدد أن الحصول على الأجنة يستلزم خلية بيضية مخصبة بخلية جنسية ذكرية أو بحيوان منوي في حالة الحيوان، لإنتاج ما يسمى البويضة المخصبة التي تتطور تدريجيا إلى نبات كامل. الفرق البحثية المشار إليها سابقا هي فريق راينيرت الألماني Reinert في العام ١٩٥٩، وفريق ستيوارد الأمريكي وزملائه Steward *et al.* عام ١٩٦٤، وفريق هالبيرين وويذرل الأمريكي Halperin and Wetherel عام ١٩٦٤. ويُعدّ هذا الإنجاز فتحاً علمياً من المؤكد أنه ستكون له نتائج بالغة الأثر في عدد من المجالات؛ أهمها سهولة إكثار النباتات، واستنباط أصناف نباتية هي خليط في صفاتها من أصناف نباتية عدة لا تنتمي للصنف أو النوع نفسه.

إضافة إلى الفتح العلمي السابق، كان هنالك فتح من نوع آخر حققته مجموعتان تعملان بشكل مستقل: المجموعة الأولى فرنسية، مكونة من بورغن Bourgin والزوجين نيتش Nitch خلال الفترة ١٩٦٣ إلى ١٩٦٩؛ والمجموعة الثانية هندية، تألفت من جحا Guha وزميله ميهاشواري Mehashwari عام ١٩٦٤. اكتشفت هاتان المجموعتان ـ مستقلّتيْن ـ إمكانية إنتاج ما يسمى نباتات أحادية المجموعة الكروموسومية في بيئة مغذية من حبوب اللقاح. وأدى هذا الاكتشاف إلى فتح آفاق رحبة أمام العاملين في مجال تربية النبات، الذين أصبح بإمكانهم إكثار نباتات احادية المجموعة الكروموسومية، ثم تحويلها إلى نباتات عادية، أي ثنائية المجموعة الكروموسومية، للحصول على سلالة نباتية نقية لأية غاية بحثية أو إنتاجية.

وأخيرا، عند زراعة خلية واحدة في بيئة معينة (مع ملاحظة المستجدات الثورية في هذا المجال)، أصبح من الممكن زراعة پروتوپلاست Protoplast الخلية، وليس الخلية كلها، عن طريق إذابة جدار الخلية السليلوزي باستخدام إنزيمات معينة. بعد ذلك تأتي الخطوة التالية، وهي دمج پروتوپلاست خليتي نباتين مختلفين، أي

Somatic-cell hybridization أو إدخال بعض الجزيئات البروتوبلاستية الكبيرة أو عضيات Cybrids بروتوبلاست إلى البروتوبلاست الآخر؛ وبذلك يمكن إنتاج نبات جديد لم تنتجه الطبيعة. جاء هذا الفتح على يدي كاو وميشيلوك Kao and Michayluk عام ١٩٧٤. وتلاهما عام ١٩٧٨ ميلشرز وساكريستان وهولدر Melchers, Sacristan and Holder، الذين استطاعوا بنجاح دمج بروتوبلاستي البندورة والبطاطا. وما زالت هذه المحاولات في مهدها؛ إذ لم ينجح الإنسان بعد في دمج بروتوبلاستي نباتين لا يمكن تربيتهما بالطرق الوراثية التقليدية.

٦- الإنتاج الحيواني

شهدت بداية القرن العشرين ولادة علم الوراثة Genetics، الذي كان وريثا لعلم الخلية والتحليل المندلي Mendelian. وبتطور علم الوراثة، تبلورت مفاهيم علمية في غاية الأهمية للحفاظ على النوع، وعلى القدرة على التكيف والتطور، مثل التنوع الوراثي والتنوع الحيوي ومكنز الجينات. ولتبيان أهمية ما سبق، أشار رندل وروبرتسن (Rendel and Robertson, 1950) إلى محدودية التحسين الوراثي الذي يمكن تحقيقه، حتى على صعيد زيادة إنتاجية الحليب لقطيع من الحيوان حين يكون هذا القطيع صغيرا ومعزولا. لكن، في بحث آخر، أوضح هذان العالمان إمكانية تحقيق التحسين الوراثي على الأبقار عبر أربع وسائل، هي: استخدام الثيران لتحسين الثيران، أو الثيران لتحسين الأبقار، أو الأبقار لتحسين الثيران، أو الأبقار لتحسين الأبقار. وقد أدت هذه المعادلة إلى إمكانية التنبوء بالتحسين الوراثي؛ اعتمادا على مفاضلة الاختيار الوراثي المتوقع تحقيقه، وعلى قابلية توريث الصفة قيد الاختيار.

من جهة أخرى، أدى اختراع وسيلة الإخصاب الصناعي إلى التسريع في عمليات التحسين الوراثي عن طريق اختبار المواليد Progeny الجدد على مستوى قطعان مختلفة؛ ما أحدث ثورة في إمكانيات التحسين الوراثي تلك.

وبسبب التفاوت في تحديد المعايير الوراثية، كان الادعاء بالتحسين الوراثي موضع شك في كثير من الأحيان؛ الأمر الذي استدعى نشر الأساليب المثلى لقياس مثل ذلك

التحسين في مؤتمر عقد خصيصا لتلك الغاية في أوتاوا عام ١٩٥٨، بعنوان: Symposium of Biometerical Genetics (Robertson, 1960).

إضافة إلى ما سبق، استُخدمت أساليب في التحسين الوراثي لم تكن معروفة حتى فترة قصيرة، أهمها: تكنولوجيا الجين الموسوم بـ Marker gene؛ وزراعة الأنسجة الحيوانية، التي كانت حتى نهاية الثمانينيّات من القرن العشرين حكراً على الأنسجة النباتية، والتي استخدمت لغايات إكثار الأصناف النباتية ذات الصفات أو الأنماط الإنتاجية المرغوب فيها، أو انتقاء الطفرات النباتية الملائمة لغايات محدّدة، كمقاومة الجفاف أو الملوحة أو بعض الأمراض الفيروسية أو البكتيرية أو الفطرية؛ وأخيراً تكنولوجيا نقل الجينات Gene transfer، التي تثير زوبعة من الجدل القانوني والأخلاقي بسبب العمق الحيوي الذي يمكن أن يغوص إليه الإنسان في بنية الكائنات الحية.

ترتب على كل تلك المنجزات العلمية استنباط أصناف فائقة الصفات الإنتاجية على صعيد اللحم أو الحليب. على سبيل المثال، استُنبط صنف البقر هولستين Holstein الذي يعد أكثر الأصناف البقرية إنتاجا للحليب في العالم في المناطق الباردة أو المعتدلة؛ كما استُنبط الصنف الفريزيان الأسترالي Australian Friesian Sahiwal، وهو الصنف المتفوق عالميا في إنتاج الحليب في المناطق الحارة نسبيا (موقع الكتروني خاص بـ Department of Animal Science, Oklahoma State University). ولتوضيح التَطور في مجال الوراثة الحيوانية، وتجدر الإشارة إلى الهجين المعروف باسم بيفالو Beefalo؛ وهو حيوان مولّد من الجاموس البري المعروف باسم بيسون Bison، والبقر من صنف بوفين Bovine. ويمتاز هذا الهجين بصفات الجاموس البري، التي أهمها صلابة العود والقدرة الفائقة على الرعي وسهولة التوالد ونوعية اللحم؛ وبصفات البقر البوفين التي أهمها وفرة إدرار الحليب والخصوبة المرتفعة وسهولة الانقياد. وكان من المتعذر مزاوجة هذين الحيوانين حتى الستينيّات من القرْن الماضي (American Beefalo Registry). إضافة إلى ما سبق، طور لازارو سپلنزاني Lazaro Spalanzani أسلوب التلقيح الاصطناعي الذي طبقه على قطعان البقر؛ ما

ترتب عليه تأسيس أول جمعية أمريكية للتلقيح الاصطناعي للأبقار في بلدة كلنتون بولاية نيوجرسي عام ١٩٣٨ .

٧- الصناعات الغذائية

ارتبطت التطورات في مجال الصناعات الغذائية بتطورات في مجالات أخرى. على سبيل المثال، أدى التوسع في مساحة الرقعة الزراعية المستثمرة في إنتاج محصول فول الصويا والزيادة الملحوظة في إنتاج الحبوب في الستينيّات والسبعينيّات من القرن العشرين، نتيجة للثورة الزراعية، إلى توسع كبير في مجال إنتاج اللحوم؛ ومن ثَمّ تطوير تكنولوجيا حفظ اللحوم واستخلاص الزيوت النباتية وتصنيع الأغذية وحفظها. أدت تلك التغيرات إلى ترسيخ أسس علم وتكنولوجيا الأغذية والتصنيع الغذائي واحداً من الحقول المعرفية المتميزة التي اختطت هُويّتها المستقلة منذ منتصف الخمسينيّات من القرن العشرين. ففي مجال حفظ الأغذية، استنبطت وسائل لم تكن معروفة من قبل، أهمها: التجميد، والتشعيع (التعقيم بتعريض الأغذية إلى جرعات محسوبة من أشعة غاما)، والتسخين بالموجات الميكرويّة Microwave، والتعليب، والتعقيم.

وبسبب ازدهار صناعة البتروكيماويات، ازدهرت صناعة التعليب. كما أدى النمو الحضري وازدهار وسائل المواصلات، بما في ذلك غزو الفضاء، إلى استنباط أنواع من الأطعمة لم تكن معروفة من قبل، مثل: الأطعمة الجاهزة والمحاكية Imitational and fabricated foods للأطعمة التقليدية، والأطعمة الخاصة Convenience foods، وأطعمة رواد الفضاء Space food.

ومع اقتراب القرن العشرين من نهايته، برز مجال إبداعي جديد هو التكنولوجيا الحيوية Biotechnology، التي أظهرت بواكيرها أنه من الممكن استنباط طرائقَ جديدة في إنتاج الغذاء؛ اعتمادا على تغيير جينات الكائنات الحية، سواء الميكروبية المحوّلة للأغذية أو المخلّقة لها، من موادّ أولية غير صالحة للاستهلاك البشري، أو للنباتات المنتجة للغذاء التقليدي.

٨ ـ علم التربة

يُعدُّ علم التربة علماً حديثاً نسبياً؛ إذ لا تتعدى بداياته الزمنية ـ بوصفه علماً مستقلا ـ منتصف القرن التاسع عشر. في تلك الفترة، تزايد الاهتمام بالتربة من منظور عملي مرتبط بنمو النبات وتغذيته؛ الأمر الذي وضع وظيفة التربة ـ من حيث إنها وسط لنمو النبات ـ على محك اختبار المفاهيم التقليدية السائدة، التي كان أهمها أن النبات يتغذى على محتوى التربة من المادة العضوية بكيفية شبيهة بتغذية الحيوان. والحقّ أنّه حتى منتصف القرن التاسع عشر، كان الاعتقاد السائد أن المادة العضوية تتحلل بفعل الأكسدة الكيميائية، وليس الحيوية، التي تقوم بها ميكروبات التربة التي لم تكن معروفة حتى تاريخه. فقط في العقد الأخير من القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، اكتشف الدور الميكروبي في عملية تحلل المادة العضوية وإطلاق أيون الأمونيوم عام ١٨٩٣ على يديّ كل من مارشال، وومونتْز، وكودن Marshal, Muntz, and Coudon؛ وفي عمليتين حيويتين إضافيتين هما عملية النترتة، أي أكسدة الأمونيوم ميكروبيا إلى نترات، عام ١٨٩١ على يدي ڤاينوغرادسكي Winogradsky؛ وعملية التثبيت الحيوي للنتروجين الجوي (N_2) عند توافر مادة عضوية كافية في التربة على يديّ كل من ڤاينوغرادسكي عام ١٨٩٣، وبيجرينك Beijerinck عام ١٩٠١ (Waksman, 1952). واستمر أولئك العلماء وتلامذتهم في تعرّف تلك الحقائق لاحقا، خاصة فيما يتعلق بتثبيت النتروجين الجوي، الذي أصبح معروفا أنه يمكن أن يتم بواسطة البكتيريا الحرة Azotobacter، أو في عُقَد جذور البقوليات بواسطة بكتيريا الريزوبيا Rhizobia، حيث يجري اختزاله إلى حَمض أميني. وفي عام ١٩٤٣ استطاع بورِس وولسون Burris and Wilson أن يقدما الدليل القاطع على حدوث عملية التثبيت الحيوي للنتروجين، باستخدام نظير النتروجين ـ١٥ (^{15}N) للتحقق من مصدر البروتين المكون لإنزيم النتروجينيز الذي يتوسط في عملية تثبيت النتروجين الجوي (Stanier *et al.*, 1976). أما بالنسبة لعملية النترتة، ربما يكون پاستور Pasteur أول من أشار إلى دور البكتيريا في تلك العملية عام ١٨٦٢ عند دراسته لعملية تنقية المياه العادمة. وفي الفترة من العام ١٩١١ إلى العام ١٩٤٠، انتقل الاهتمام في مجال

ميكروبيولوجيا التربة من تشخيص البكتيريا وتعريفها إلى اكتشاف الميكروبات والكائنات الدقيقة الأخرى، مثل: الفطريات والأكتينومايسينات والطحالب والديدان الثعبانية Nematodes ويرقات الحشرات، وعَلاقة تلك الكائنات بعضها ببعض، وتأثير ذلك على خصوبة التربة.

ومع بداية الحرب العالمية الثانية، توجه الاهتمام في مجال ميكروبيولوجيا التربة من التطبيقات الزراعية إلى التطبيقات المرتبطة بشؤون الحرب. وكان من أهم تلك التطبيقات: إيجاد طرق لمكافحة تلف المواد التموينية الناجم عن العفن الفطري، والبحث عن وسائل لمقاومة الحرب البيولوجية، واستنباط ميكروبات قادرة على إنتاج كيمائيات تستخدم في علاج أو مقاومة العدوى أو الأوبئة التي تنتشر في أيام الحرب. من المهم بمكان الإشارة إلى المساهمة المتميزة لميكروبيولوجيا التربة في استخلاص مشتقات البكتيريا، مثل: غرام سيدين Gramcidin وتايروسيدين Tyrocidine؛ إضافة إلى المضادات الحيوية المستخلصة من الفطريات، مثل: پنسيلين Penicillin وغليوتوكسين Gliotoxin وكلافسين Clavicin، وتلك المشتقة من الأكتينوميسينات، مثل: الأكتينوميسين وستربتوثريسين وستربتوميسين وكلورامفينيكول وتيرامسين ونيوميسين.

كان مفهوم التغذية العضوية للنبات مفهوما شائعا منذ أيام الإغريق، ولم تطرأ عليه تغيرات جوهرية إلى أن بدأ العلم يحل لغز البناء الضوئي مع بدايات القرن التاسع عشر. فأصبح ممكنا، بتجاربَ بسيطة، اكتشاف مساهمة التربة في تغذية النبات المقتصرة على تزويده باحتياجاته من العناصر الغذائية المَعْدنيّة فقط. وكان العالم البروسيّ ليبغ J. von Liebig (1840) من أوائل من توصلوا إلى هذه النتيجة. أما المنظور الثاني فقد كان أكاديميا مجردا، وكان معنيا بالتعامل مع التربة من حيث إنها منظومة طبيعية تتطور من الصخر الأولي، أو من أية مادة رسوبية أخرى، لتصبح تربة بالمفهوم العلمي المجرد. ويسمى هذا الحقل المعرفي في يومنا هذا علم الپيدولوجيا Pedology؛ أي علم التربة. وكان السبق فيه للعلماء الروس، خاصة دوكيوشييف Vasily Dockuchayev (١٨٤٦ ـ ١٩٠٣)، الذي يُعَدّ على صعيد الشرق والغرب معا

الرائد والمؤسس لهذا العلم.

مع بدايات القرن العشرين، ترسخت مفاهيم علم البيدولوجيا، وابتدأ علماء كثيرون في وضع أسسه النظرية، خاصة ما يعرف بعوامل تكوين التربة؛ ومن أهمهم: غلينكا K. D. Glinka (١٨٦٧ـ ١٩٢٩)، ونويستروييف S.S. Neustruyev (١٨٧٤ـ ١٩٢٨)، وتشارلز كيلوغ Charles E. Kellogg (١٩٠٢ـ ١٩٧٧) (Wilding *et al.*, 1983). وفي الفترة المبكرة نفسها، عبّر العالم الأمريكي هانس جني Hans Jenny عن مدى تطور التربة على صورة دالة رياضية في عوامل تكوينها المحصورة في طبيعة مادة الأصل، والمناخ، والمادة العضوية الحية، والطبوغرافيا، والإنسان.

ومع بدايات القرن العشرين أيضا، انصب الاهتمام في الولايات المتحدة بشكل خاص على فهم العمليات الكيميائية والفيزيائية والحيوية المرتبطة بدور التربة، بوصفها بيئة طبيعية لنمو النبات. من هنا اشتق حقل معرفي جديد أطلق عليه علم الإيدافولوجيا Edaphology؛ ومنه تفرعت معارف متخصصة، من أهمها: كيمياء التربة، وفيزياء التربة، وخصوبة التربة، وتغذية النبات، وميكروبيولوجيا التربة، وبيوكيمياء التربة. وفي كل من تلك الحقول، كانت هنالك إسهامات علمية متميزة، ربما كان أهمها تعرّف احتياجات النبات من العناصر الغذائية المعدنية. وفي هذا الصدد، قد يتعذر الفصل بين الإنجازات العلمية في حقلين معرفيين مستقلين: خصوبة التربة وكيمياء التربة من جهة، وتغذية النبات وفسيولوجيا النبات من جهة أخرى. وحسب رأي أرنون وستَوْت Arnon and Stout(١٩٣٩)، حُدّد في بدايات القرن العشرين كلّ العناصر المعدنية الأساسية اللازمة لنمو النبات Essential mineral nutrients. قبل ذلك، ساد اعتقاد أن النبات يحصل على غذائه الجاهز من التربة بكيفية تشبه حصول الحيوان على الغذاء؛ وهي آلية تعود في جذورها إلى الإغريق، ومن بعدهم العرب والمسلمين، وفيها الكثير من المحاكاة لتغذية الحيوانات ونموها.

يعرف العنصر الأساسي بأنه العنصر الذي من دونه لا يستطيع النبات أن يكمل دورة حياته الطبيعية. وفي حالة عدم توافره، لا يمكن لعنصر آخر أن يؤدي وظيفته التي هي

مرتبطة بتغذية النبات؛ كأن يكونَ مكوّنا لأحد المركبات الحيوية النباتية Structural element، أو عنصرا ضروريا لنشاط واحد من الإنزيمات النباتية Coenzyme على الأقل (Mengel and Kirkby, 1979). لقد عُرفت تلك العناصر بالتفصيل، وهي: الكربون (C)، والهيدروجين (H)، والأكسجين (O)، والنتروجين (N)، والفسفور (P)، والكبريت (S)، والپوتاسيوم (K)، والكالسيوم (Ca)، والمغنيزيوم (Mg)، والحديد (Fe)، والمنغنيز (Mn)، والنحاس (Cu)، والزنك (Zn)، والموليبدنم (Mo)، والبورون (B)، والكلور (Cl). كما عُرفت بعض العناصر بأنها أساسية لبعض النباتات فقط، وهي: الصوديوم (Na)، والسيليكون (Si)، اللذان اتضحت أهميتهما لبعض النباتات المحبة للملوحة المفرطة Halophytes، وعنصر الكوبالت المهم للبكتيريا العُقديّة المثبتة للنتروجين الجوي، التي تعيش بصورة تكافلية في عُقَد جذور النباتات البقولية (Reisenauer, 1960; Kliewer and Evans, 1962). في البداية، اكتُشف دور النتروجين والپوتاسيوم والفسفور بصفتها عناصر غذائية نباتية كبرى. وبالنسبة لتلك العناصر، من غير المعروف التاريخ الدقيق لاكتشاف أهميتها الغذائية؛ لكن من الموثق أن هاربر وبوش Harbor and Bosch قد طورا طريقة لإنتاج الأمونيا بواسطة اختزال النتروجين الجوي؛ ثم استخدمت تلك الطريقة في إنتاج الأسمدة النتروجينية الكيميائية عام ١٩١٣؛ أي أن أهمية النتروجين من حيث إنه عنصر غذائيّ كانت معروفة قبل ذاك التاريخ. وفي الواقع، اكتُشفت العناصر الغذائية الكبرى كافة في القرن التاسع عشر؛ إضافة إلى عنصري الحديد والمنغنيز، اللذين اكتشف دورهما الحيوي في تغذية النبات عام ١٨٦٠. وبتطور طرق التحليل الكيميائي، شهدت العقود الأربعة الأولى من القرن العشرين استكمال اكتشاف دور بقية العناصر الغذائية الصغرى في تغذية النبات، وهي: البورون عام ١٩٢٢، والزنك عام ١٩٢٦، والنحاس عام ١٩٣١، والموليبدنم والكلور وبقية العناصر الغذائية الأخرى عام ١٩٣٩.

لقد ارتبطت الإنجازات الرئيسية في مجال خصوبة التربة وتغذية النبات بالإنجازات

العلمية في مجال كيمياء التربة. على سبيل المثال، كان للتطور الكبير في حقل الديناميكا الحرارية لمحلول التربة والتبادل الأيوني على معقد التربة (الذي ابتدأت معالجته بشكل متكامل في الثلاثينيّات من القرن العشرين على يديّ ڤانزلو Vanselow من جامعة كاليفورنيا في ريڤرسايد) أثر كبير لاحق في فهم كيمياء العناصر الدقيقة؛ كالألمنيوم، أو العناصر الثقيلة كالكادميوم والرصاص، وسُمّيّتها. وتجدر الإشادة في هذا المقام بالمساهمات المتميزة في السبعينيّات والثمانينيّات من القرن العشرين التي قام بها كل من فرد آدمز Fred Adams من جامعة كولورادو الأمريكية، وغاريسون سپوزيتو Garrison Sposito من جامعة كاليفورنيا، التي أرست دعائم حقل معرفي جديد في مجال كيمياء التربة، الذي أضحت له لاحقا تطبيقات متعددة في مجالات الكيمياء البيئية وكيمياء التربة، وكيمياء المياه. وفي هذين العقدين، ازداد الاهتمام بالعوامل المؤثرة على كفاءة استعمال الأسمدة من طرف النبات، كتطاير الأمونيوم، أو غسيل النترات عميقا إلى المياه الجوفية، أو التحولات البيوكيميائية للأسمدة النتروجينية المختلفة، وامتزاز الأسمدة الفوسفاتيّة أو ترسيبها.

على صعيد الإنجازات في مجال كيمياء التربة البحتة، ربما لم يستحوذ موضوع على اهتمام الباحثين كما فعل تعرّف ماهية التربة من حيث إنها مبادل أيوني؛ أو بمعنى آخر طبيعة التفاعلات التي قد يتعرض لها أيون معين عند إضافته الى التربة. لقد جرت محاولات بسيطة في النصف الثاني من القرن التاسع عشر لتقديم إجابات محددة لمثل هذا التساؤل، كان من أهمها: الأعمال المبكرة لثومپسون H.S. Thompson، المزارع الإنجليزي من مقاطعة يوركشاير، الذي حاول عام ١٨٥٠ تفسير ظاهرة خروج محلول كبريتات الكالسيوم من أسفل عمود من التربة عند سقايته بمحلول من كبريتات الأمونيوم. بالطبع، لم تكن تفاعلات التبادل الأيوني معروفة آنذاك. فحاول ثومپسون أن يستعين بكيميائي شاب هو ثوماس وي J. Thomas Way، الذي كان يعمل مستشارا لدى الجمعية الزراعية الملكية، والذي أجرى بدوره مجموعة إضافية من تفاعلات التبادل الأيوني، وخلص إلى مجموعة من الاستنتاجات التي كان معظمها غيرَ دقيق أو مغلوطاً؛ لكن بعضها كان صحيحا إلى حد كبير، خاصة فيما يتعلق بطبيعة

التربة بصفتها مبادلاً أيونياً. وفي الحقيقة، استحوذ الاهتمام بالطبيعة التبادلية الكيميائية للتربة على اهتمام عاملين في حقول كيميائية غير كيمياء التربة، نظرا للأهمية التطبيقية الفائقة لهذه الظاهرة في مجالات تكنولوجية متعددة، أهمها: تنقية المياه من الملوثات المختلفة العضوية والمعدنية. ومن أهم الإنجازات في هذا الحقل: الأعمال المبكرة لكلي Kelley عام ١٩١٤، الذي لاحظ أن بإمكان التربة تبادل الكاتيونات (الموجبة الشحنة)؛ لكنها لا تستطيع تبادل الأيونات (السالبة الشحنة). وفي فترة لاحقة، أوضح ريتشارد برادفيلد الأمريكي Richard Bradfield عامي ١٩٢٣ و١٩٢٥ طبيعة التبادل الكاتيوني بين كاتيون قلوي وكاتيون الألمنيوم المتبادل على تربة حَمْضية؛ تلك الطبيعة الشبيهة بتفاعل الحمض الضعيف مع قاعدة قوية. إضافة إلى ما تقدم، تمكن بيڤر ومارشال Paver and Marshall (١٩٣٤) من حل اللغز الأخير في فهم سلوك التربة الحمضية؛ فقد أوضحا أنه باستطاعة أيون الهيدروجين المتبادل على معقد التربة الحمضية أن يحرر الألمنيوم البلوري من موقعه في بناء معادن الطين ليُصبحَ بدوره كاتيونا متبادلا. كانت هذه الفرضية نقلة نوعية فسّرت بشكل صحيح السلوك الغريب للتربة الحمضية عند معادلتها بكاتيون قلوي كالصوديوم أو الكالسيوم، الذي يعود إلى الطبيعة الحمضية الضعيفة لكاتيون الألمنيوم المتعدد ثوابت التأيُّن.

من جهة أخرى، كانت هنالك تركيزات على الطبيعة القلوية والملحية للتربة تعود بداياتها إلى عام ١٩٠٦ في ولاية كاليفورنيا الأمريكية على يدي يوجين هيلغارد Eugene Hilgard، الذي حدد العامل المسؤول عن تدهور صفات التربة القلوية؛ وهو زيادة محتوى التربة من ملح كربونات الصوديوم. كما كانت هنالك إضافات من هيسينك Hissink عام ١٩٠٧، الذي لاحظ أنّ احتواء التربة المقتطعة من البحر على تركيز عال من الصوديوم يؤدي إلى تدهور صفاتها الفيزيائية، خاصة قابليتها لصرف الماء الزائد. أما غيدرويز Gedroiz، فتوصل عام ١٩١٢ إلى معلومة مفادها أن غسيل التربة الخصبة المسماة شيرنوزيم Chernozem بماء غني بملح كلوريد الصوديوم يؤدي إلى تطور ظاهرة القلونة في تلك التربة وسيادة ملح كربونات الصوديوم فيها. وأخيرا، كان لا بد من عمل ضخم تُراجع فيه التطورات العلمية كافة التي شهدها

النصف الأول من القرن العشرين؛ فجاء الكتاب الشهير «**تشخيص التربة الملحية والتربة القلوية واستصلاحهما**»؛ الذي أعده فريق من العاملين في مختبر الملوحة الأمريكي في بلدة ريڤرسايد جنوبيّ كاليفورنيا (USSLS, 1954). وظل مرجعاً تعليمياً في معظم جامعات العالم لأعوام عدّة.

على صعيد البنية البلّوريّة لمعادن التربة، كان هنالك إنجاز لامع يعود السبق فيه إلى هندركس وفراي (Hendricks and Fry, 1930)، وكلي وزملائه (Kelley *et al.*, 1931)، الذين استطاعوا مستقلّين أن يثبتوا باستخدام حُيود الأشعة السينية أن معادن الطين الغروية لها بنية بلوريّة؛ ما فتح الباب على مصراعيه، لاحقا وفي زمن قصير، لتعرّف البنية البلّورية للمعادن الرئيسية كافة الموجودة في الجزء الغروي من التربة. وأدى هذا الكشف الى تفسير كثير من الظواهر الكيميائية والفيزيائية التي كانت أسبابها حقلاً للاجتهادات في السابق، مثل: التفاوت في قدرة التربة على احتجاز الرطوبة؛ أو قدرتها على التبادل الأيوني؛ أو انتفاخ بعض أنواع التربة وانكماشها مع زيادة رطوبتها أو جفافها؛ أو اختلاف معامل غيض الماء في التربة باختلاف معادن الطين السائدة فيها. ويجدر التنويه بصاحبَي الفضل الأول في هذا المجال؛ وهما [سير] وليم هنري براغ Bragg وابنه وليم لورنس براغ، اللذيْن حازا جائزة نوبل عام ١٩١٥، لتطويرهما تكنولوجيا الكشف عن البنية البلّوريّة للمعادن باستخدام تقنية حُيود الأشعة السينية X-ray diffraction technique.

٩ـ علم الري

لا يمكن تقييم المنجزات التي تحققت في مجال الري بمعزل عن تلك التي تحققت في مجالات علوم التربة المختلفة، خاصة في مجالي فيزياء التربة واستصلاح الأراضي؛ إذ تتداخل هنا مرتكزات أساسية لكلا الحقلين مع منجزات هندسة الري، كمعضلات نفاذية التربة، وغسيل الأملاح الذائبة، وحركة الماء في قطاع التربة تحت ظروف التشبع أو عدمه. بمعنى آخر، عملت منجزات علوم التربة على حفز الإبداع في مجال الرّيّ. على سبيل المثال، تشير مقالة حول الرّيّ الزراعي في الولايات المتحدة (US Bureau of Census, 1996) إلى أنه عام ١٩٩٤ كان هنالك قرابة ٤٦ مليون إيكر

من الأراضي الزراعية المرويّة؛ أي ما يعادل ٥ , ٥٠ ٪ تقريبا من مجمل الأراضي الزراعية البالغة ٩١ مليون إيكر. ومَعَ أن معظم الأراضي الزراعية الأمريكية ما زالت تروى بالقنوات المفتوحة (١ , ٢٥ مليون إيكر)، فإن المساحات المروية بنظام الرشاشات أو بالتنقيط في تزايد مستمر؛ إذ ازدادت مساحة الأراضي المروية بالرشاشات خلال الفترة ١٩٨٨ و ١٩٩٤ بمقدار ٣ مليون إيكر لتصبح ٥ , ٢١ مليون إيكر؛ كما تضاعفت مساحة الأراضي المروية بالتنقيط خلال الفترة نفسها لتُصبح ٧٥ , ١ مليون إيكر. إن الحاجة إلى ريّ مثل تلك المساحات الكبرى من الأراضي الزراعية المروية لا بد أن تكون ساهمت إلى حد كبير في عمليات تمويل منتجات أنظمة الري وانتشارها واستهلاكها.

ربما لا تعطي الأرقام الخاصة بالولايات المتحدة فكرة كافية حول الحاجة إلى تطوير تكنولوجيات ري تتغلب على المعضلات الناجمة عن التوسع في رقعة الأراضي الزراعية المستصلحة، وتقنين الاستهلاك المائي لتوجيه الفائض من المياه نحو الأرض العطشى المستصلحة. يبين الجدول (١) إحصائية عالمية مشتقة من *FAO Production Yearbook*، توضح مساحات الأراضي الزراعية القابلة للزراعة، وتلك المزروعة فعلا، ومساحات الأراضي المستغلّة في الرعي.

الجدول (١)

مساحات الأراضي الكلية والقابلة للزراعة والمزروعة فعلا حسب المنطقة الجغرافية.

المنطقة الجغرافية	المساحة الأرضية الكلية (ألف كيلومتر مربع)	الأراضي القابلة للزراعة (٪ من المساحة الكليّة)	الأراضي الزراعية (٪ من المساحة الكليّة)	أراضي المراعي (٪ من الأراضي القابلة للزراعة)
العالم	١٣٠٧٨١	٢٥	٣١	٦٧
الأقطار الصناعية	٥٤٨٤٥	٢٦	٣٣	٦٦
الأقطار النامية	٧٥٩٣٥	٢٤	٢٩	٦٩
إفريقيا	٢٣٢٩٤	٣٧	١٩	٧٩
آسيا	٢٦٧٦٥	٣٨	٤٥	٥٣
أوروبا	٤٧٢٩	٤٩	٥٥	٣٨
أستراليا	٨٤٢٨	٦١	٩	٩١
أمريكا الشمالية	١٨٣٤٧	٢٧	٤٦	٥٣
أمريكا الجنوبية	١٧٥٢٧	٣١	١٥	٨١
الولايات المتحدة	٩١٢٧	٤٧	٤٣	٥٦

يتضح من هذا الجدول تدنّي نسبة الأراضي المزروعة فعلا من جملة مساحة الأراضي القابلة للزراعة في قارتي إفريقيا وأستراليا بشكل خاص. بالنسبة لأستراليا: السبب الرئيسيّ هو عدم توافر مياه للري؛ لكن بالنسبة لإفريقيا: الأسباب متعدّدة، أحدها عدم توافر مياه للري في بعض أقطارها، وسوء إدارة الموارد الأرضية والمائية بالنسبة للعدد الأكبر من تلك الأقطار. من هنا، فإن الحاجة ماسة جدا في الأقطار التي تعاني من شح مواردها المائية، كغالبية الأقطار العربية، إلى الأخذ بأساليب الري الحديثة لتعظيم الفائدة من عائد المياه المستغلة في الري، الذي يمكن تعريفه بشكل مبسط أنه عدد لترات ماء الري اللازمة لإنتاج كيلوغرام واحد من محصول معين. وفي الواقع، كان هذا الهدف، ولا يزال، الهاجس الأول للعاملين في هذا المجال. وتوضح الفقرة الآتية أهم المنجزات العلمية في هذا الحقل المهمّ، التي تصب بمجملها في هدف وحيد هو زيادة كفاءة استعمال مياه الري:

ـ في عام ١٩٢٢ ، اخترع رالف بيرشال Ralph L. Pershall عبّارة لقياس تدفق المياه عُدّت في حينه ثورة تكنولوجية في مجال قياس كميات مياه الري المتدفقة إلى الحقول الزراعية ، وما زالت تستخدم .

ـ في عام ١٩٣٣ ، اختُرع أول نظام للري بالرش على يدي أورتن إينغلهارت Orton Engelhart ، مزارع الحمضيات الأمريكي ، الذي أطلق عليه تعبير Spring-activated horizontal impact arm-driven sprinkler . وبعد ذلك أسس أورتن شركة Rain Bird Sprinkler في غليندورا /كاليفورنيا . وفي عام ١٩٧٢ ، اخترع مزارع الحمضيات الأمريكي توم ثاير Tom Thayer ، من ولاية فلوريدا ، نظام الري بالرش المعروف باسم ماكسي جت Maxijet ، الذي يعمل بنظام الرأس النفاث ، الذي عُدّ ثورة في مجال توفير مياه الري . أما في عام ١٩٥٢ ، فقد أدخل رجل الأعمال الأمريكي إدوين هنتر البلاستيك الحراري ، لأول مرة ، في صناعة رؤوس أنظمة الري بالرش ؛ وكانت حتى تاريخه تصنع من النحاس . وأما في عام ١٩٨٢ ، فقد أدخل إدوين نظام الري بالرش الدوراني إلى المسطحات المنزلية والحضرية ، الذي عرف لاحقا باسم PGP ، وأصبحت أكثر الرؤوس الدوّارة مبيعاً في تاريخ صناعة الري بالرش .

ـ في عام ١٩٣٥ ، أنجز مهندسو دائرة حفظ التربة الأمريكية بقيادة ري W.O.Ree تجارب حقلية على سوائليّات (هيدروليكا) قنوات المياه المعشوشبة التي أدت إلى تطوير تصاميم ناجحة لأكثر من ٨٠٠ ألف كيلومتر من قنوات المياه في الولايات المتحدة ؛ ما ساعد على تصريف مياه الفيضانات وحدّ من انجراف التربة .

ـ طور فرانك زيباك Frank Zybach عام ١٩٥٢ نظام الري بالرش المحوري Center-pivot irrigation system .

ـ في عقد الستينيّات ، طُوّر نظام الري بالتنقيط . ويُعدّ الأمريكي ريتشارد دك Richard Dick الأب الروحي لهذا النظام ، نظرا لمساهماته المتميزة في صناعة أنابيب الري بالتنقيط في أعوام الثلث الأخير من القرن العشرين ؛ مثل تصنيع أنبوب الري المزدوج الجدار ، الذي كان ينتهي عند النبات بمجموعة أنابيب رفيعة تشبه خيوط

المعكرونة. وكان دك أول من استخدمه في الولايات المتحدة؛ بل كان أول من استخدم تكنولوجيا الدثار البلاستيكي هناك.

١٠. التربة والمياه والبيئة

لم يستمر الاهتمام بالتربة بوصفها وسطاً لنمو النبات فترة طويلة بعد منتصف القرن العشرين؛ بل ابتدأ اهتمام آخر يطفو على السطح تدريجيا، مجبرا (علمَي) البيدولوجيا والإيدافولوجيا على إفساح حيز رحب له على حسابيهما. والحقّ أنّ (علم) البيدولوجيا تجمد تقريبا مع بداية الثمانينيّات باختراع نظم لتصنيف التربة على غرار تصنيف النبات والحيوان؛ من أهمها: النظام الأمريكي، الذي عرف في بداياته بنظام التقريب السّابع Seventh approximation؛ ونظام منظمة الأغذية والزراعة الدولية FAO system؛ والنظام الروسي الكلاسيكي.

أما بخصوص علم الإيدافولوجيا، فقد بدأت تحولات في الاهتمامات تشق طريقها بقوة منذ الخمسينيات من القرن العشرين. وتمثلت تلك الاهتمامات في التعامل مع التربة من حيث إنها مفاعل حيوي وكيميائي. من هنا، ازداد الاهتمام كثيرا بعلوم التربة ذات العَلاقة بالبيئة، مثل فيزياء وكيمياء وبيوكيمياء وميكروبيولوجيا التربة. إضافة إلى ما تقدم، دخلت إلى الحلبة معارف مستحدثة؛ أهمها: نظم المعلومات الجغرافية، والاستشعار عن بعد، والإحصاء الجيولوجيّ (جيوستاتيستكس)؛ وكلها تطبيقات مرتبطة بالتطورات في مجال علوم الفضاء والاتصالات والحاسوب. لقد أحدثت تلك التطبيقات نقلة نوعية في نظرتنا إلى التربة من المنظور المجهري التقليدي إلى المنظور الجاهري الشمولي؛ وهو منظور يتعامل مع التربة من حيث إنها أحد عناصر المنظومة البيئية، ويُعنى بكيفية التعبير عن التغاير المكاني والزماني في صفات التربة، بأسلوب يعكس البعديْن السابقيْن، وليس قياسا خاصا بنقطة معزولة ذات إحداثيات محددة. واستمد هذا الاهتمام زخْمه من الاهتمام العالمي المتنامي بالبيئة. ولكوْن التربة أحد أهم العناصر البيئية، فقد تصاعد الاهتمام العلمي بها، ولم يعد تدريسها حكرا على أقسام التربة في كليات الزراعة؛ بل امتد ليشمل أقسام البيئة أو الجيولوجيا أو المياه أو الهندسة المدنية أو هندسة البيئة في معظم الجامعات العريقة.

من ناحية تاريخية، تعود بدايات الاهتمام بالبيئة إلى الستينيّات من القرن العشرين لسببين رئيسيين: الأول مستمد من الزيادة غير المنضبطة في عدد سكان العالم الذي أدى إلى أزمات في توفير الغذاء لسكان أقطار العالم الثالث؛ والثاني كان محرّكه كتاب صدر عام ١٩٦٢ بعنوان «**الربيع الصامت** *Silent Spring*» لمؤلفته راشيل كارسون Rachel Carson، التي لاحظت اختفاء أسراب الطيور والحشرات النافعة من الحقول الزراعية في فترة الربيع؛ الأمر الذي دفعها إلى التساؤل حول الآثار الجانبية السلبية لاستخدام المبيدات على الحياة البرية. فطرحت بذلك، لأول مرة، موضوع التلوث البيئي الناجم عن اضطراد استخدام التكنولوجيا الحديثة في مجالات الإنتاج المختلفة. واتضح فيما بعد أن الأمرين عائدان لقضية واحدة هي الاستغلال المفرط لموارد الأرض المتجددة والمستنزفة، التي أصبحت في وقتنا الراهن قضية الساعة. فيحتل موردا التربة والماء حالياً مركز الصدارة في مجال الدراسات البيئية، خاصة قدرة التربة على استيعاب الملوثات البيئية العضوية والمعدنية، وأساليب تدوير تلك الملوثات حيويا؛ ومن ثم إعادة توزيعها بيئيا.

١١- أين نحن من تلك المتغيرات؟

على نقيض كل التمنيات، هنالك غياب كامل لأية مساهمة عربية ملموسة في مجال العلوم الزراعية المختلفة في القرن العشرين. ربما كانت هنالك بعض المساهمات غير الموصولة التي غالبا ما تأخذ طابع الإنجازات الدراسية لطلبة الدراسات العليا العرب ممن تلقوا علومهم في الجامعات الغربية؛ لكنّ مثل هذه المساهمات لا ترقى إلى مستوى الإنجاز العلمي المتكامل الذي لا يتأتى من دون عمل مؤسسي مصحوب بمجالدة الأيام والليالي عاما بعد عام. ولتحقيق ذلك، فإن الأمر بحاجة إلى مُناخ علمي تفتقر إليه بلادنا العربية. وللتدليل على قتامة الصورة، يعرض الجدول رقم (٢) توضيحا للفارق الكبير بين إنتاجية العامل الزراعي العربي من بعض المحاصيل الزراعية الرئيسية، مقارنة بما هو الحال في الولايات المتحدة الأمريكية؛ بالرُّغم من زيادة مساحة الأراضي القابلة للزراعة وأراضي المراعي في البلاد العربية، مقارنة بالولايات المتحدة.

الجدول (٢)

مساحة الأراضي الزراعية وإنتاجية بعض المحاصيل في الوطن العربي مقارنة بالولايات المتحدة الأمريكية (*).

المؤشر	الوطن العربي	الولايات المتحدة
المساحة القابلة للزراعة (مليون هكتار)	١٩٨,٠	١٩٠,٦
المساحة المزروعة (مليون هكتار)	٥٠,٦	١٨٥,٩
المساحة المطرية (مليون هكتار)	٤٠,٦	١٦٨,٧
المساحة المروية (مليون هكتار)	١٠,٠	١٧,٢
مساحة المراعي (مليون هكتار)	٢٦٧,٧	٢٤١,٢
إنتاجية العامل الزراعي بالطن من محاصيل:		
الحبوب	١٠,٥٨٠	١١٧,٣٠٠
الخضراوات	٠,٦٦٩	١٠,٧٠٠
الفاكهة	٠,٤٩٢	١٠,٥٠٠
البقوليات	٠,٠٦٠	٠,٥٠٠
الدرنات	٠,١١٢	٧,٣١٤

(*) محمد عبدالسلام ، ١٩٨٨ : **الأمن الغذائي للوطن العربي**؛ المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب؛ دولة الكويت.

تُلاحَظ هذه النتيجة السلبية ، رُغم وجود عدد لا يقل عن ٧٣ كلية زراعية منتشرة في أرجاء الوطن العربي ، كما يوضح الجدول (٣) . ويمكن استخلاص استنتاج من تلك الملاحظة يوحي بوجود إشكاليات متعددة تحول دون الارتقاء بمستوى أداء العامل الزراعي . وربما تكون إحدى أهم الإشكاليات تدني مستوى المعرفة لدى العاملين في القطاع الزراعي ؛ أو بمعنى آخر تدني مستوى التعليم الزراعي في الوطن العربي . فإذا علمنا أن أحد أهم مؤشرات الترقية العلمية لدى أعضاء الهيئات التدريسية في الجامعات هو عدد البحوث التي يوفق عضو هيئة التدريس في نشرها سنويا ، وإذا

افترضنا أن جُزءا كبيرا من ذلك الإنتاج يحققه أساتذة الجامعات، فإنه يمكننا بسهولة تعزيز الاستنتاج السابق بمراجعة الجدول (٤) الذي يوضح فقر عضو هيئة التدريس الجامعي العربي في مجال النشر العلمي، مقارنة بنظيره في الولايات المتحدة أو في الدولة العبرية. ولكي لا نظلم أساتذة الجامعات العربية، فإن جُزءا من مسؤولية إخفاقهم وزملائهم في بقية أقطار العالم الثالث في تحقيق قدرات بحثية متفوقة يعود إلى شُح الموارد المالية المكرسة للبحث العلمي، كما يشير إلى ذلك الجدول (٥)؛ ما يترتب عليه تدني عدد العاملين في مجالات البحث والتطوير العلمي (الجدول ٦)، وتدنّي حصة المواطن العربي من الإنفاق الوطني على البحث العلمي (الجدول ٧)، مقارنة بإنفاق الأقطار الصناعية المتقدمة (الجدول ٨). والحقّ أنّ هذه الملاحظة تُعدّ معضلة بحد ذاتها، لأنها تقود إلى تساؤل في غاية الوجاهة: هل تخصص الأموال أولا لإعطاء الباحث العلمي فرصة لتحقيق الذات وللنهوض من عثراته المبكرة؛ أم يجب على الباحث العلمي إثبات قدراته قبل تكريس الأموال لدعم نشاطه البحثي؟(*)

(*) غنيّ عن القول إنّ هذه الملاحظات تَسْري على سائرِ التخصّصات العلميّة. (المحرّر)

الجدول (٣)

عدد كليات الزراعة أو الكليات ذات العلاقة بالعلوم الزراعية في عدد من الأقطار العربية (*).

القطر	عدد الكليات الزراعية
الأردن	٥
الإمارات	١
تونس	٦
الجزائر	١
السعودية	٤
السودان	١٠
مصر	١٧
اليمن	٥
سورية	٤
الصومال	١
العراق	٥
عمان	١
فلسطين	٤
لبنان	٥
ليبيا	٤

(*) الأمانة العامة لاتحاد الجامعات العربية. عمّان. (١٩٩٨)؛ اتصال شخصي.

الجدول(٤)

مساهمة الباحثين العرب (٪ من مجمل المساهمات الدولية) في المشورات العلمية، العالمية مقارنة بمساهمتي الولايات المتحدة والدولة العبريّة (*).

الدولة	النسبة المئوية للمساهمة العلمية
مصر	٠,٢٨٠
لبنان	٠,٠٤١
الكويت	٠,٠٣٤
الأردن وسورية	٠,٠٢١
العراق	٠,٠٣٠
البحرين	٠,٠١١
السعودية	٠,١٢٩
الدولة العبرية	١,٠٧٤
الولايات المتحدة الأمريكية	٣٠,٨١٧

(*) كامل العجلوني، ١٩٩٧: البحث العلمي ودوره وتوظيفه في الوطن العربي، الجزء الأول؛ المؤتمر الثلاثون لمجلس اتحاد الجامعات العربية.

الجدول (٥)

الإنفاق (مليون دولار أمريكي) على البحث والتطوير العلمي لبعض الأقطار العربية لعامي ١٩٩٢ و ١٩٩٦ (*).

البلد	١٩٩٢	١٩٩٦
الأردن	١٥,١	٢٠,٦
البحرين	١,٩٤	٣,٧٤
الجزائر	٣٣,٥٨	٣٥,٥٦
السعودية	١٣١,١	١٩٦,١
السودان	٨,٨٠	١٠,٠٤
العراق	٣٣,١٢	٢٧,٥٧
الكويت	٤٧,٢	٦٧,١
المغرب	٧٠,٦	٧٤,٩
اليمن	٦.٦٢	١٠,٣
تونس	١٦,٥	٢٨,٩
سوريا	١٤,٧	٢٤,٢
عمان	٥,٩	١٠,٧٦
قطر	٤,٣	٥,٤٦
لبنان	٥,٨	٧,٤٥
ليبيا	١٣,٤	١٦,٩٢
مصر	١٥٦,٢	٢٢٧,٥
موريتانيا	٣,٧	٤,٣
الدول العربية	٥٧٩.٤	٧٨٢.٣

(*) *Research and Development in the Arab States: Development of Science and Technologhy Indicators*, 1998. Prepared for UNESCO Cairo Office by Subhi Qasem.

الجدول (٦)

أعداد العاملين في البحث والتطوير العلمي لكل ألف من القوى العاملة في الأقطار العربية مرتبة تنازلياً في العامين ١٩٩٢و١٩٩٦(*).

البلد	١٩٩٢	١٩٩٦
الكويت	٠,٧٥	٠,٨١
مصر	٠,٥٠	٠,٦٢
الأردن	٠,٣٨	٠,٣٤
العراق	٠,٢٠	٠,٢٩
البحرين	٠,٢٥	٠,٢٦
الجزائر	٠,١٤	٠,٢٣
ليبيا	٠,١٧	٠,٢٣
المغرب	٠,١٦	٠,٢١
لبنان	٠,٢٣	٠,١٦
السعودية	٠,١٨	٠,١٦
تونس	٠,١٥	٠,١٤
قطر	٠,١٧	٠,١١
الإمارات	٠,١٥	٠,١٠
سورية	٠,١٠	٠,٠٩
عمان	٠,٠٨	٠,٠٨
موريتانيا	٠,١٤	٠,٠٧
اليمن	٠,٠٩	٠,٠٧
السودان	٠,٠٧	٠,٠٥
المتوسط	٠,٢٣	٠,٣٠

(*) *Research and Development in the Arab States: Development of Science and Technology Indicators, 1998. Prepared for* UNESCO Cairo Office by Subhi Qasem.

الجدول (٧)

نصيب الفرد الواحد من نفقات البحث والتطوير العلمي (بالدولار الأمريكي) لبعض الأقطار العربية في العامين ١٩٩٢و١٩٩٦ (*).

البلد	١٩٩٢	١٩٩٦
الأردن	٣,٩	٤,٧
الإمارات	٦,٤	٤,٥
البحرين	٣,٨	٦,٢
الجزائر	١,٣	١,٣
السعودية	٨,٠	١٠,٦
السودان	٠,٤	٠,٣
العراق	١,٦	١,٤
الكويت	٢٧,٨	٣٩,٥
المغرب	٢,٧	٢,٧
اليمن	٠,٦	٠,٧
تونس	٢,٣	٣,٢
سورية	١,٢	١,٧
عمان	٣,٧	٤,٩
قطر	١٠,٨	٩,١
لبنان	١,٧	٢,٤
ليبيا	٢,٦	٣,٣٠
مصر	٢,٩	٣,٧
موريتانيا	١,٩	١,٩
المتوسط	٢,٥	٣,٠

(*) *Research and Development in the Arab States: Development of Science and Technology Indicators*, 1998. Prepared for UNESCO Cairo Office by Subhi Qasem.

الجدول (٨)

نصيب الفرد الواحد من نفقات البحث والتطوير العلمي (بالدولار الأمريكي) لبعض الأقطار غير العربية في العامين ١٩٩٠ و ١٩٩٤ (*).

البلد	١٩٩٢	١٩٩٦
إسبانيا	١٠٠	١١١
ألمانيا	٥٠٥	٤٥٩
اليابان	٥٤٢	٦٠١
أمريكا	٦١٨	٦٨١
إيطاليا	٢١١	٢١٧
تركيا	١٥	١٩
كندا	٢٨١	٣٣٦

(*) *Research and Development in the Arab States: Development of Science and Technology Indicators,* 1998. Prepared for UNESCO Cairo Office by Subhi Qasem.

خاتمة

مَعَ أوائل القرْن الحادي والعشرين، تدخل البشرية مرحلة متغيرات شمولية لم تألفها عبر تاريخها الطويل. وستعمل تلك المتغيرات على إحداث تحوّلات جوهرية على الصعيدين الاجتماعي والحيوي للإنسان. وتعود تلك المتغيرات، بالدرجة الأولى، إلى المنجزات التي حُقّقت في مجالات العلوم الزراعية أو العلوم الوثيقة الصلة بالمعرفة الزراعية؛ مثل: هندسة الجينات، وزراعة الأنسجة، وزيادة إنتاج الأغذية والتحكم بمحتواها الغذائي بواسطة تلك الطرق؛ وربما إلى منجزات إضافية، أهمها: تطوير تكنولوجيات تتعلق باستحداث الزراعة الفضائية، أو الزراعة على سطح القمر أو أي كوكب آخر ككوكب المرّيخ. كل تلك المتغيرات ستضع الإنسان أمام أنماط جديدة من العَلاقات الاجتماعية التي تتحدّى الخيال في الوقت الراهن، كاندثار التسلسل الوراثي

من الأبوين إلى الأبناء فالأحفاد، وما يترتب على ذلك من منظومة القربى الإنسانية وتغير طبيعة الاحتياجات الفسيولوجية والنفسية الإنسانية، كأشكال الطعام وكمياته ومواقيته؛ بل حتى إشباع الرغبات العاطفية والنفسية والجنسية.

وبعد؛ هذه هي عُجالة استقرائية من واقع حركة التغيير الذي لابد أن يأخذ مداه، إما عبر اندفاع سلس أو على كتف طوفان جارف. وفي الحالين، سيحمل الإنسان إلى واقع يبدو أنّه سيكون أقل رومانسية من واقعه الحالي. وسيتغنّى الشعراء والأدباء في المستقبل ببساطة الأيام الخوالي وعفويتها وطيبتها؛ تماماً كما نصنع نحن الآن حين نلتفت قليلاً إلى الوراء.

تنويه

يؤكد المؤلف أنه لولا مساهمة بعض الزملاء أو دعمهم لهذا العمل لما أمكن إخراجه بالصورة الحالية. وفي هذا الصدد، لابد من الإشارة إلى مساهمات الزملاء الآتية أسماؤهم(*):

١ . أ. د. أنور البطيخي، أستاذ فيزياء التربة/ الجامعة الهاشمية.

٢ . أ. د. وليد أبوغربية، أستاذ علم النيماتود/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

٣ . أ. د. عبدالله الموسى، أستاذ علم الڤيروسات ونائب الرئيس لشؤون الكليّات العلمية/ الجامعة الأردنية.

٤ . أ. د. عايد عمرو، أستاذ تكنولوجيا الغذاء/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

٥ . أ. د. مصطفى قرنفلة، أستاذ البساتين / كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

٦ . أ. د. جمال قاسم، أستاذ الأعشاب/ لية الزراعة/الجامعة الأردنية.

٧ . دة. لمى البنا، أستاذة مساعدة / علم النيماتود/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

٨ . د. صائب خريسات، أستاذ مساعد/ تصنيف التربة/ كلية الزراعة/جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية.

(*) الرّتب والمناصب مثبّتة هنا كما كانت وقت الكتابة. (المحرّر)

٩ . د . ضيف الله بدارنة، أستاذ مشارك/ ميكروبيولوجيا التربة/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

١٠ . د . محمد عبدالهادي العمري، أستاذ مشارك/ الآلات الزراعية/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

١١ . د . عمر كفاوين، أستاذ مشارك/ تربية النبات / كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

١٢ . د . جمال عياد، أستاذ مساعد/ المراعي/ كلية الزراعة / الجامعة الأردنية.

١٣ . د . محمد جهاد الطباع، أستاذ مشارك/ وراثة الحيوان/ كلية الزراعة/الجامعة الأردنية.

المراجع

١ . أبوغربية، وليد، عبدالله الموسى، حفظي أبو بلان، أحمد المومني، حامد حليف، عقل منصور، ١٩٩٤ . **مقدمة في أمراض النبات** . كلية الزراعة/الجامعة الأردنية . عمّان .

٢ . قاسم، جمال، ١٩٩٢ . التثبيط Allelopathy آلية تحكم طبيعي في العلاقة بين الأعشاب والمحاصيل . ورقة عمل مقدمة للندوة العربية الأولى « مكافحة الأعشاب الضارة (الأدغال) في بساتين الفاكهة ومزارع الخضر » . الأمانة العامة للمجلس الأعلى للعلوم والتكنولوجيا . عمّان ١١- ١٣/١٠/١٩٩٢ .

3. Agrios, G.N. 1997. *Plant Pathology*. 4th edition. Academic Press, San Diego.

4. American Beefalo World Registry. 3770 1021 Avenue, Allegan, MI 49010 . USA (Internet site :*http:pc 200. anmsci. okstate. edu/breeds/cattle/beefalo/index.html*).

5. Arnon , D.I. and P.R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology*. 14:371-375.

6. Bawden, F.C. and N.W. Pirie. 1937. The Isolation and some properties of liquid crystalline substances from solanaceousplants infected with three strains of tobacoo mosiac virus. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B. Biol. Sci.* 123:274-320.

7. Chapman. 1984. *The Insects: Structure and Function*. Hodder and Stoughton.

8. Corbett, M.K. 1964. *Introducton to Plant Virology* (M.K. Corbett and H.D. Sisler, eds.). University of Florida Press, Florida, USA.

9. FAO, 1993. *Production Yearbook.*

10. Gedroiz, K.K. 1912. Colloidal chemistry as related to soil science: I. Colloidal substances in the soil solution, formation of sodium carbonate in the soil, alkali soils, and saline soils. (Translated into English by S.A Waksman). *Zh. Opytn. Agron.* (USSR) 13:363-420.

11. Gierer, A. and Schramm, G. 1956. Infectivity of ribonucleic acid from tobacoo mosiac virus. *Nature*. 177:702.

12. Hendricks, S. B., and W.H. Fry. 1930. The results of X-ray and mineralogical examination of soil colloids, *Soil Sci*. 29:457-476.

13. Hilgard, E.W.1906. *Soils: Their Formation, Properties, Composition, and Relations*

to Climate and Plant Growth. McMillan, New York. 593 pp.

14.Hissinik, D.J. 1907. Eie Einwirkung Verschiedener Salzlosungen auf die Durchlassigkeit des Bodens. *Chem. Weekblad.* 4:663-673.

15. Holmes, F.O. 1929. Local lessions in tobaco mosiac. *Bot. Gaz.* 87:39-55.

16. Janick, J. 1986. *Horticultural Science.* 4th edition. Freeman and Company, USA.

17. Kelley, W.P. 1964. Review of investigation on cation exchange and semi-arid soils. *Soil Sci.* 97:80-88.

18. Kelley, W.P., W.H. Dore, and S.M. Brown. 1931. The nature of the base exchange material of bentonite, soils, and zeolites as revealed by chemical investigation and X-ray analysis. *Soil Sci.* 31:25-55.

19. Kliewer, M. and H.J. Evans. 1962. B 12 coenzyme content of the nodules from legumes, alder and of *Rhizobium meliloti. Nature.* 194:108.

20. Kramer, P.J. and J.S. Boyer. 1995. *Water Relations of Plants and Soils.* Academic Press, NY.

21. Lwoff, A. 1957. The concept of virus. *J. Gen. Micro.* 17:239-253.

22. Maggenti, A. 1981 . *General Nematology.* Springer-Verlag. New York. pp 5-8.

23. McCracken, R.J. 1987. Soils, soil scientists, and civilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1395-1400.

24. Markham, R. 1953. Nucleic acids in virus Multiplication. *Soc.Gen. Micro. Symp.* 2:85-98.

25. Markham, R. 1977. Landmarks in plant virology. *Ann. Rev. Phyto.* 15:1- 39.

26. Mengel,K. and E.A. Kerkby. *Principles of Plant Nutrition.* 2nd edition. 1979. International Plant Institute. Berne, Switzerland.

27: Purdey, H.A. 1929. Immunologic reactions with tobacoo mosiac virus. *J.Exp. Med.* 49:19- 953.

28. Reisenauer, H. M. Cbalat in nitrogen fixation by a legume. *Nature.* 186: 375-376.

29. Robertson, A. 1960. Experimental design on the measurement of heritability and

genetic correlatios. In: *Biometrical Genetics* (O. Kempthorne). Pergamon Press, London.

30. Stanier, R.Y., E.A. Adelberg, and J. L.Ingraham. 1976. *The Microbial World.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

31. Stanley, W.M. 1935. Isolation of a crystalline virus: processing the properties of tobacoo mosiac virus. *Sci.* 81: 644 - 645.

32. Thomas, G.W. 1977. Historical developments in soil chemistry: Ion Exchange. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 230 - 238.

33.United States Bureau of Census, Agricultural Financial Statistics Division. 1996. Agricultural irrigation in the United States. *Journal of Applied Irrigation Science.* 31 (2) : 155-163.

34. United States Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agric. Handbook No. 60. U.S. Government Printing Office. Washington, DC.

35. Wadsman, S.A. 1952. *Soil Microbiology*. Wiley, NY.

36. Wigglesworth, V.B. 1984. *Insect Physiology.* Chapman and Hall, London.

37. Wilding, L.P., N.E. Smeck, and G.F. Hall (eds.). 1983. *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions.* Elesevier, Amsterdam.

الفصول الحادي عشر - الثّالث عشر

التكنولوجيا الحيويّة

التنسيق والمتابعة: أ. د. إبراهيم النّاظر



الفصل الحادي عشر

التكنولوجيا الحيويّة وهندسة الجينات في الصّناعات الدّوائية والطبّ

أ. د. أمجد خليل

أ. د. خليل المغربي



التكنولوجيا الحيويّة وهندسة الجينات في الصناعات الدوائيّة والطبّ

الأستاذ الدكتور أمجد خليل

الأستاذ الدكتور خليل المغربي

مقدّمة

كانت الفترةُ الزمنية ما بين اكتشاف قوانين الوراثة المندلية وأعوام الخمسينيّات من القرن العشرين فترةَ مخاض وتكوين لإرساء دعائم علم الوراثة التقليدي. إلا أن اتساع المعرفة، وتطور طرق البحث العلمي، وابتكار الأدوات والأجهزة المتطورة، أدى إلى إحداث ثورة حقيقية في مجال علم الوراثة. فشهد هذا العلم اتساعًا كبيرًا؛ ليصل في أواخر القرن العشرين إلى هندسة الجينات (الهندسة الوراثية)، والوراثة الجزيئية، وتطبيقاتهما.

تعتمد هندسة الجينات على التحكم بالجينات بطريقة تسمح بظهور صفات جديدة مفضلة في كائن لم يكن يمتلكها؛ أو أنها تزيل صفات غير مرغوب فيها، كانت موجودة لدى الكائن؛ أو تسمح بالاستفادة منها في إنتاج مواد أو توفير خدمات محدّدة (١٠٠١).

كانت ثورة هندسة الجينات إحدى الثورات العلمية في القرن

العشرين. ويتكهن البعض بأنها ستتصدر الأهمية الأولى في القرن الحادي والعشرين. وأدت تقنيات الهندسة الوراثية إلى الكشف عن الكثير من المعلومات التي تتعلق بالجينات وعملها وطرق استنساخها، وغيرها من المعلومات التي كانت ـ لعهد ليس ببعيد ـ من المعلومات الغامضة. وأفضى الكشف عنها إلى معرفة الكثير من أسرار الكائنات الحية.

إضافة إلى جانبها الأكاديمي، فقد أهّلت الاكتشافات الجديدة هندسة الجينات للدخول في العالم التطبيقي للمعرفة. وهكذا، دخلت في مجالات كثيرة في الزراعة، والطب، والصناعة، والإنتاج الحيواني، وغيرها. وقبل الحديث عن هذه التطبيقات، يجدر توضيح الأساس العلمي الذي تقوم عليه.

١. إنزيمات هندسة الجينات

تعتمد هندسة الجينات في كثير من طرقها على الإنزيمات، التي تقسم وَفْقًا لوظائفها إلى أربع مجموعات؛ هي [١٥]، [٢١]، [٥٠]:

- ـ الإنزيمات القاطعة أو المقيدة.
- ـ إنزيمات بلمرة الحَمْض النووي.
- ـ إنزيمات اللحام.
- ـ إنزيمات إضافة المجموعات الكيميائية أو حذفها.

أ. الإنزيمات القاطعة أو المقيدة Restriction enzymes

يرجع اكتشاف هذه الإنزيمات إلى عام ١٩٧٠؛ حين لوحظ أن كفاءة (العاثي لامبدا)، المعزولة من إحدى سلالات بكتيريا القولون، أقلّ من كفاءة السّلالات الأخرى من حيث قدرتُها على الإصابة. وأظهرت الدراسة أن ذلك يعود إلى وجود إنزيم يعمل على تقييد كفاءة العاثي عن طريق تحطيم مادته الوراثية داخل خلايا العائل؛ ما يفقد العاثي حيويته وقدرته على الإصابة. وحين استخلص هذا الإنزيم من

البكتيريا، وجد أن له قدرة عجيبة على قطع أشرطة الحمض النووي المنقوص الأكسجين(الدنا) DNA، من أي مصدر كانت. إلا أنه وجد أن الأجزاء الناتجة كانت عشوائية، وأن الإنزيم لا يستهدف أماكن خاصة؛ بل إنّ نشاطه عام. وقد أطلق على هذا الإنزيم اسم الإنزيم المقيد.

حقق هذا الاكتشاف حلمًا طالما راود الباحثين في هذا المجال. ودفع بالكثير منهم لإعادة المحاولة مع أنواع أخرى. ونجحت المحاولة الأولى في العام نفسه الذي اكتشفت فيه هذه الإنزيمات؛ فاستخلص نوع ثان منها من ڤيروس الزكام *Haemophilus influenzae*. ووجد أن إنزيم النوع الثاني يختلف عن الإنزيم الأول في أنه يستهدف أماكن معينة من شريط الحمض النووي دون سواها. وتوالى اكتشافات الإنزيمات الأخرى بعد ذلك (١٢-١٤).

يُسمّى هذا النوع من الإنزيمات حسب الاسم العلمي للكائن المستخلص منه الإنزيم. وقد تضاف أرقام إلى التسمية في حالة استخلاص أكثر من إنزيم من الكائن نفسه. فمثلاً من الإنزيم EcoRI مستخلص پلازميد RI الموجود في بكتيريا القولون *E. coli*؛ الإنزيم Hind III مستخلص من ڤيروس الزكام، وهو الإنزيم الثالث المستخلص من هذا الڤيروس.

أنواع الإنزيمات القاطعة

قسمت الإنزيمات القاطعة إلى ثلاث مجموعات؛ اعتماداً على قدرتها على القطع المتخصص، واحتياجاتها للقيام بوظيفتها؛ وهي:

١ . إنزيمات القطع - النوع الأول

تقطع هذه الإنزيمات الحمض النووي بصورة عشوائية، وتحتاج إلى عوامل مساعدة؛ مثل: أيون المغنيسيوم Mg^{2+}، وأدينوسين ثلاثي الفوسفات، ومادة كبريتات الأدينوسيل - ميثيونين Sulfur adenosyl-methionine. وهذه الإنزيمات غير مهمة في هندسة الجينات لعدم قدرتها على القطع المتخصص.

٢ . إنزيمات القطع ـ النوع الثاني

تُعدّ هذه الإنزيمات أهم إنزيمات القطع، نظراً لقدرتها على قطع أشرطة الحمض النووي في مواقع متخصصة فقط؛ بحيث تعطي عدداً من الأجزاء الثابتة لكل نوع من الكائنات الحيّة. ويتحقّق بواسطة هذه الإنزيمات عزل جينات معينة دون غيرها؛ بعد بضع عمليات قطع، واستخدام وسائل أخرى. ويمكن حساب الوزن الجزيئي للأجزاء الناتجة من عملية القطع [(١٠)، (١١)، (١٦)، (١٨)].

تستهدف هذه الإنزيمات تتابعات معينة؛ فتتعرّف هذه التتابعات، وتقطع قبل التتابع أو بعده مباشرة. مثلاً، يتعرّف إنزيم EcoRI التتابع 5-GAATTC-3، ويقطع بين A وG . وهكذا، فإن هذا الإنزيم يقطع أشرطة الحمض النووي في المناطق نفسها تماماً. ويختلف عدد التتابعات التي يجري القطع قبلها أو بعدها [(٥٩)]. فبعض الإنزيمات تميز تتابعات سداسية، كما هو الحال في إنزيم EcoRI؛ وبعضها يميز تتابعات مختلفة (الجدول ١).

الجدول (١)

مواضع قطع الإنزيمات (مؤشر عليها بسهم) في تتابعات الحمض النووي DNA.

تتابع القطع ومكانه	الإنزيم
G ↑AATTC	*ECO*
G ↑GATCC	*BmHI*
A↑AGCTT	*Hind III*
C ↑CGC	*Hpal*
↑GATC	*MboI*
CTGCA↑G	*Pst1*

تنتج بعض هذه الإنزيمات قطَعًا ذات نهايات لزجة Cohesive ends (أو Sticky ends) ، وهي نهايات يمكن من خلالها الالتحام مرة ثانية؛ في حين تنتج بعض الإنزيمات أجزاء ذات نهايات عمياء Blunt ends ، لا تتمكن من الالتحام إلا إذا أجريت لها بعض التحويرات التي تجعلها لزجة (١٩-٢٠).

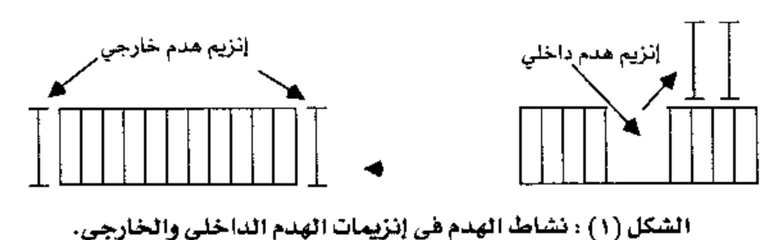
٣. إنزيمات القطع - النوع الثالث

هي إنزيمات وسط في صفاتها بين النوع الأول والثاني، تقطع الحمض النووي في أماكن معينة، وتحتاج إلى عواملَ مساعدة؛ مثل: أيون المغنيسيوم، والأدنين ثلاثي الفوسفات. وكبريتات الأدينوسيل - ميثيونين. إلا أن حاجتها إلى العامل المساعد الأخير جزئية.

ب. إنزيمات بلمرة الحمض النووي DNA polymerases

هذه الإنزيمات من أهم الإنزيمات اللازمة لمضاعفة الحمض النووي واستنساخه. كما أن للبعض منها وظائف أخرى ذات أهمية كبيرة في هندسة الجينات. فإنزيمات بلمرة الحمض النووي في بكتيريا القولون تقوم بنشاط هدم؛ إضافة إلى نشاط البناء. وينتج ذلك من وجود وحدتين في هذا الإنزيم: الأولى تقوم بالبناء، وتسمّى وحدة كلينو Klenow fragment ؛ في حين تسمّى الثانية وحدة الهدم Nuclease. وباستخدام تقنيات جديدة، جرى قطع هاتين الوحدتين وتنقيتهما؛ بما مكّن من استخدامهما على انفراد. أما في الأحياء الحقيقيّة النّوَى، فإن إنزيمات بلمرة الحَمْض النووي فيها لا تقوم بنشاط الهدم؛ بل توجد إنزيمات مستقلة تقوم بذلك. وهنالك إنزيمان في هذه الأحياء يقومان بوظيفة الهدم. الأول: هو إنزيم الهدم الداخلي Endonuclease، الذي يزيل النيوكليوتيدات من داخل أشرطة الحمض النووي. والثاني هو: إنزيم الهدم الخارجي (الطرفي) Exonuclease، الذي يزيل النيوكليوتيدات من نهايات الأشرطة (الشكل ١). إضافة إلى هذه الإنزيمات، فإن

لإنزيم الاستنساخ العكسي المعزول من الفيروسات المرتدة أهمية في هندسة الجينات؛ إذ يمكن بواسطته نسخ حمض نووي رايبوزي منقوص الأكسجين cDNA من قالب حمض نووي رايبوزي mRNA (١٠)،(١١)،(١٥)،(٢٢)،(٢٣).



الشكل (١) : نشاط الهدم في إنزيمات الهدم الداخلي والخارجي.

ج. إنزيمات اللحام Ligase enzymes

هي إنزيمات تقوم بعملية لحام أجزاء الحمض النووي؛ فتربط هذه الإنزيمات النيوكليوتيدات بتكوين روابط فسفاتية في الشريط المفرد أو المزدوج. وأشهر أنواع هذه الإنزيمات إنزيم العائي (T4) T4 DNA ligase . ويُعد هذا الإنزيم العمود الفقري في هندسة الجينات؛ إذ يُجرى به لحام أجزاء الحمض النووي المطلوبة، أو الجينات مع البلازميدات أو غيرها، كخطوة أولى. ويعمل إنزيم اللحام على ربط الأجزاء ذات النهايات اللزجة أو العمياء. أما إنزيم اللحام المعزول من بكتيريا القولون، فليست له القابلية على لحام الأجزاء العمياء (٢٤-٢٧).

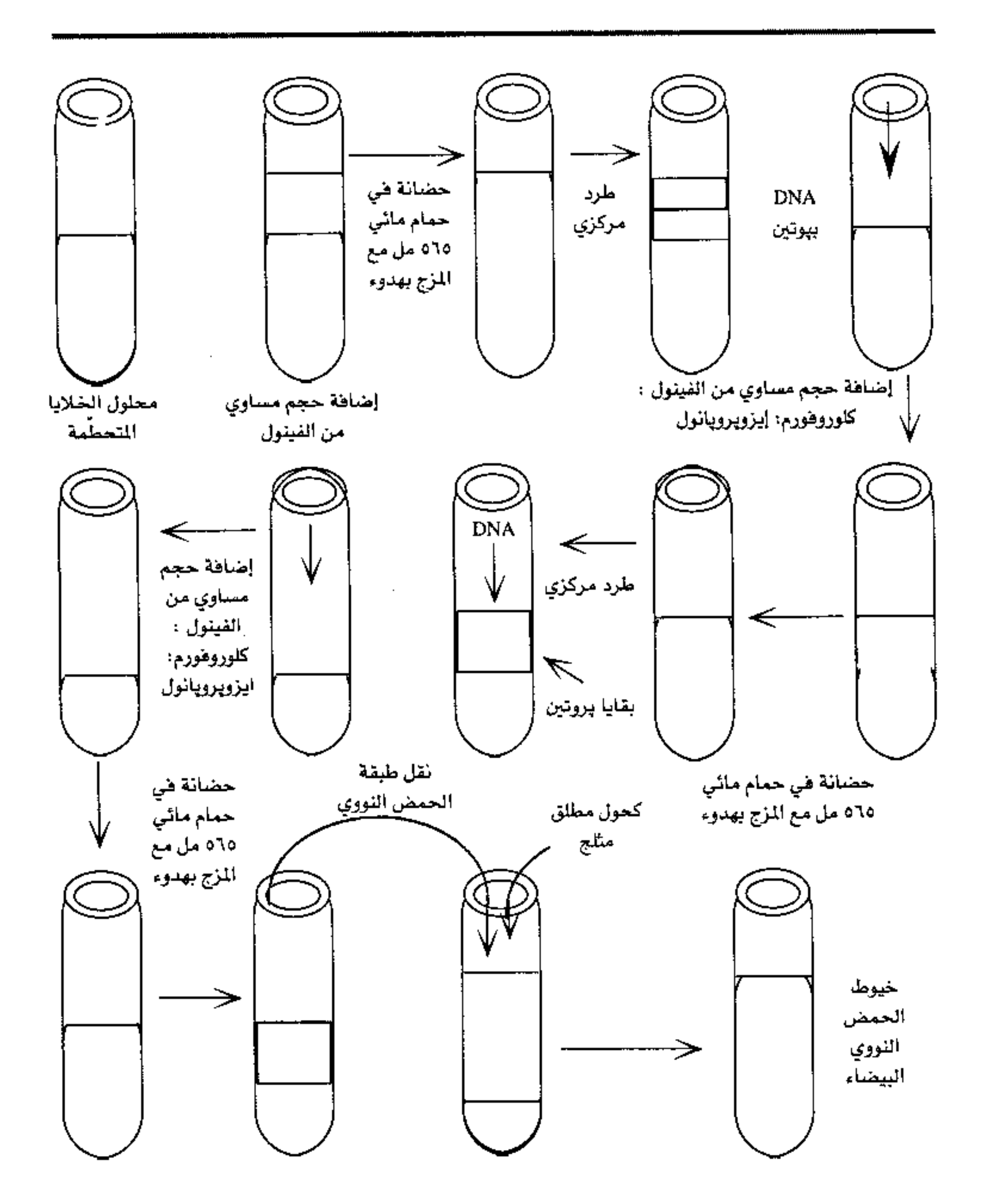
د. إنزيمات إضافة المجاميع الكيميائية أو حذفها

هي إنزيمات متخصصة بإضافة مجاميع كيميائية أو حذفها؛ مثل: إنزيم الفوسفاتيز القاعدي Alkaline phosphatase، الذي يُزيل مجموعة الفوسفات من النهاية الخامسة للحمض النووي؛ وإنزيم كاينيز المتعدد النيوكليوتيدات Polynuleotide kinase، الذي يضيف مجموعة فوسفات إلى النهاية الخامسة؛ وإنزيم الترانسفيريز النهائي الذي يُضيف نيوكليوتيداً أو أكثر إلى النهاية الثالثة (٢٨-٣١).

ثانيًا: استخلاص الحَمْض النووي المنقوص الأكسجين

يُعَدّ استخلاص الحمض النووي المنقوص الأكسجين أول خطوة في هندسة الجينات. ولا يمكن الاستفادة منه دون تنقية؛ لأن معظم الإنزيمات المستخدمة في هندسة الجينات تفقد قدرتها أو تتحطم بوجود مخلفات من البروتينات الخلوية، أو إنزيمات الهدم. وتستخدم طرق متعدّدة لاستخلاص الحمض النووي؛ أهمها طريقة استخدام الفينول: كلوروفورم: إيزوبروبانول. وفيها تُحطّم الجدران الخلوية والنووية باستخدام محلول صوديم دوديسيل سلفيت Sodium dodecyl sulfate (SDS)؛ وكذلك تُفصل البروتينات عن الحمض النووي، ويُتخلّص من إنزيمات هدم الحمض النووي. يُعامل بعدها الخليط بالفينول بدرجة حرارة ٦٥°س، ويمزج الخليط جيدًا وبعناية. ومن ثَمّ تفصل طبقة البروتين والفينول بواسطة الطرد المركزي؛ حيث يتجمع محلول الحمض النووي في الطبقة العلوية. ثُمّ تجمع الطبقة بعناية، ويعاد معاملتها بالفينول: لورفورم: إيزوبروبانول مرة؛ وأخرى بالكلوروفورم: إيزوبروبانول. تُجمع بعدها طبقة الحمض النووي التي تكون نقية وخالية من البروتين، ويرسب الحمض النووي بإضافة الكحول المطلق المثلج؛ حيث تتكون خيوط الحمض النووي البيضاء، ثم تجمع بواسطة الطرد المركزي (الشكل ٢).

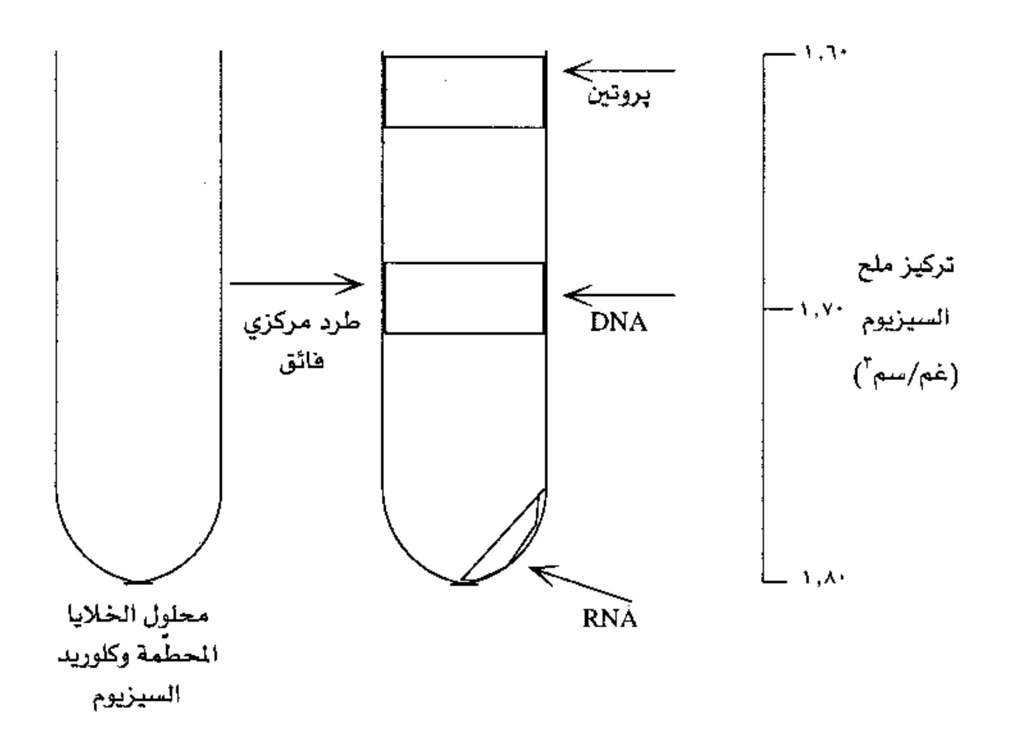
أما الطريقة الثانية الشائعة، فهي استخدام مدرج السيزيوم. ويُضاف بواسطة هذه الطريقة محلول الخلايا المحطمة بالطريقة السابقة، أو بأي طريقة أخرى، إلى أنبوب خاص يحتوي على ملح السيزيوم بتراكيزَ خاصة. يمزج المحلول جيدًا حتى ذوبان جميع الملح. بعدها، يملأ الأنبوب تمامًا ويغلق جيدًا؛ ثم يطرد الخليط طردًا مركزيًا فائقًا (٥٠,٠٠٠ دورة في الثانية) لمدة ٤٨ ساعة، ينفصل بعدها الحمض النووي عند مستوى كثافة السيزيوم ١,٧ غم/سم٣، ويستخدم بروميد الإثيديوم Ethidi-um bromide (Et Br)، لغرض تعيين منطقة الحمض النووي. تفصل طبقة الحمض النووي عن طريق ثقب في جدار الأنبوبة تحت الطبقة، ويجمع محلول الحمض في أنبوبة خاصة. كما تستخدم الطريقة نفسها لفصل البلازميدات والرواشح باستخدام قاعدة كيميائية لترسيب الحمض النووي الكروموسي؛ في حين يبقى الحمض



الشكل (٢) : طريقة استخلاص الحمض النووي باستخدام الفينول: كلوروفورم؛ حيث يزيل الفينول كمية كبيرة من البروتينات ، ويزيد الكلوروفورم كفاءة الفينول لإزالة ما تبقى من البروتين؛ في حين يسحب الكحول الماء من الحمض النووي، ليترسب بشكل خيوط ملتفة بيضاء.

البـلازميـدي أو الڤيـروسـات في المحلول (الشكل ٣)، ويجـري التـخلص من الملح الموجود في صبغة الحمض النووي عن طريق وضعه في غشاء شبه نفاذ، وتركه لمدة ٢٤ ساعة في محلول ملحي مخفف جداً ؛ حيث يتسرب ملح السيزيوم خلال عملية التنافذ (٣٢)، (٣٣)، (٤٨)، (٥٢).

وإضافة إلى هاتيْن الطريقتيْن، هنالك طرق أخرى متعددة لاستخلاص الحمض النووي من البكتيريا والنباتات والدم، وغيرها.



الشكل (٣):

فصل الحمض النووي باستخدام كلوريد السيزيوم والطرد المركزي الفائق؛ حيث يلاحظ ترسب الحمض النووي الريبوزي؛ فيما يطفو البروتين ويشغل الحمض النووي المنقوص الأكسجين المنطقة التي تكون فيها كثافة السيزيوم ١,٧غم/سم^3.

٣. نواقل Vectors الهندسة الوراثية

الناقل هو حمض نووي منقوص الأكسجين، صغير؛ دائري أو مستقيم. وللنواقل قابلية للتضاعف بشكل مستقل عن المضيف. وتُعدّ البلازميدات والعاثيات والكوزميدات (هجن مشتقة من العاثي لامبدا) أهم نواقل هندسة الجينات (٣٥)، (٣٦)، (٥٢)، (٥٦).

والبلازميدات أهم هذه النواقل. تمتلك هذه الجينات مقاومة للمضادات الحيوية تساعد على تمييز الخلايا البكتيرية المحتوية عليها؛ إضافة إلى أن معظم البلازميدات المعروفة لها خرائط جينات معروفة؛ ومن ثَمّ فإن من السهولة توقع مكان قطع الحمض النووي واختباره، باستخدام إنزيم قاطع معين لتلك المنطقة المراد إضافة قطع حمض نووي جديدة إليها. كما أن البلازميدات سهلة الاستخلاص وأمينة. وتُعدّ البلازميدات SPS, PBR322, PSC101 من أشهر البلازميدات المستخدمة في هندسة الجينات (الجدول ٢).

كذلك تستخدم الكثير من العاثيات كنواقل في هندسة الجينات. ومَعَ أن التعامل معها أكثر تعقيداً من البلازميدات؛ إلا أنها سهلة الاستخلاص، ومعظمها أمينة؛ كالعاثي لامبدا، ولامبدا EMBL4 ومشتقاتها، ولامبدا شارون 16A. كذلك تستخدم الكوزميدات لقدرتها العالية على استعياب قطع كبيرة من الحمض النووي. والكوزميدات من النواقل المفضلة في بناء بنوك الجينات Gene banks. وأشهر الكوزميدات المستخدمة في هذا المجال الكوزميد M13 (٣٧-٤٠).

الجدول (٢)

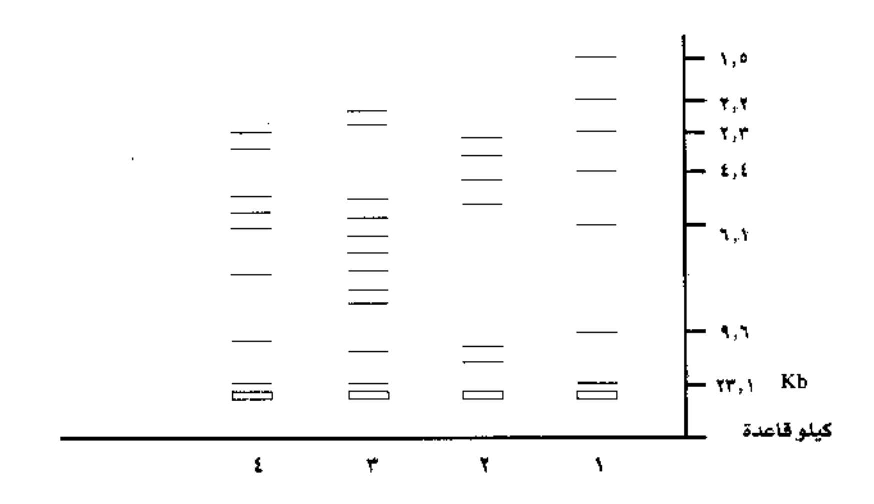
البلازميدات المستخدمة في الهندسة الوراثية مع خاصيتها اللازمة لعزلها.

البلازميد	صفة المقاومة
PSC101	تتراسايكلين
COL EL	كوليسين EL
RSF 2124	أمبسلين
PBR 322	أمبسلين + تتراسايكلين
PBR 325	أمبسلين + تتراسايكلين + كلوررومفينيكول
PAT 153	أمبسلين + تتراسايكلين
PUC 8	أمبسلين + LacZ
PHP 34	أمبسلين + LacZ
SPS 64	أمبسلين

٤. تقطيع الحمض النووي بالإنزيمات القاطعة

تُخلط كمية معينة (١ ميكروغرام مثلاً) مع عشر وحدات من الإنزيم القاطع، بوجود محلول داريء Buffer خاص بالإنزيم، في وعاء صغير خاص. يُحضن التفاعل بعد ذلك لفترة ٢-٢٤ ساعة بدرجة حرارة مناسبة للإنزيم. ثم تُعزَل القطع الناتجة من التفاعل باستخدام الترحيل الكهربائي Electrophoresis. بعد وضع القطع ممزوجة بصبغة المثيل في حفر صغيرة غير نافذة في هلام الآغار المناسب، وباستخدام تيار كهربائي عالٍ مار في محلول ملحي مخفف خاص يغطي هلام الآغار، فإن أجزاء الحمض النووي سوف تهاجر باتجاه القطب الموجب، لكون الحمض سالبَ الشحنة. وتهاجر هذه الأجزاء بسُرَع مختلفة اعتماداً على وزنها الجزئي. فالأجزاء الكبيرة الحجم ذات الوزن الجزيئي العالي تهاجر ببطء وتتخلف في نهاية القطع؛ في حين تهاجر القطع الصغيرة بسرعة متجهة إلى أعلى الآغار. وتتسلسل القطع الأخرى بين هاتين

المجموعتين. يُستخدم الحمض النووي الصغير الحجم والمقطّع إلى أجزاء معلومة الوزن الجزيئي في قطَع الحمض النووي للعاثي لامبدا المقطّعة بالإنزيم Hind III ، كمعيار لمعرفة الأوزان الجزيئية لأجزاء الحمض النووي الكروموسومي. ويمكن رؤية الحمض النووي المُقطّع بعد صبغ الآغار بصبغة الإثيديوم بروmايد واستخدام الأشعة فوق البنفسجية؛ إذ يظهر هذا الحمض بلون أحمر (٥٠)، (٥١). ويظهر الحمض النووي المهاجر الخاص بأحياء حقيقية النوى وبدائية النوى على صورة مسحة طويلة مستطيلة الشكل. وتمثل المسحة قطعًا متسلسلة الحجم جنبًا إلى جنب؛ في حين يظهر الحمض النووي المعياري على شكل قطع حمراء منفصلة عن بعضها بعضًا. أما في البلازميدات والعاثيات، ونظرًا لبساطة الحمض النووي المكون لها، فإنها تبدو بشكل قطع منفصلة تمامًا، مثل الحمض النووي المعياري (الشكل ٤).



الشكل (٤):

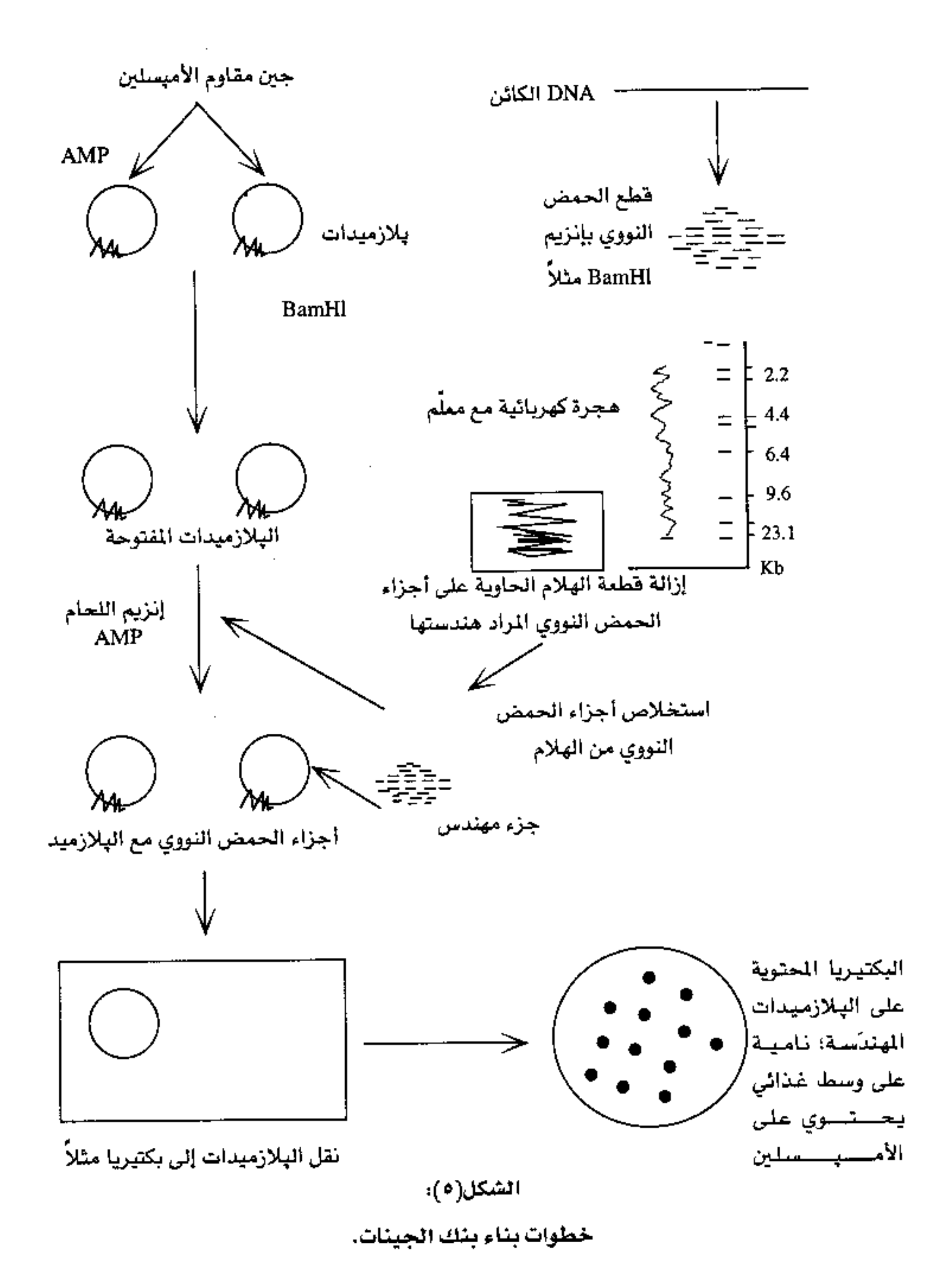
الهجرة الكهربائية لأجزاء مجهولة الحجم (٢،٣،٤) مع أجزاء الحمض النووي المعلوم (١) (لامبدا Hind III)، باستخدام هلام الآغاروز.

٥. استخلاص أجزاء الحمض النووي المناسبة

بعد تعرُّف الأوزان الجزيئية للأجزاء المُعامَلة بالإنزيم القاطع، يفصل جزء الآغاروز المحتوي على الأجزاء المطلوبة. يُعامل الآغاروز بإنزيم الآغاريز Agarase الذي يحطّم الآغاروز؛ مُطلقًا أجزاء الحمض النووي المناسبة. يطرد محلول الآغار مركزيًا؛ حيث تجمع الأجزاء المطلوبة من الراشح. كذلك، يمكن استخلاص القطع بإضافة ملح ضعيف التركيز، أو بطرق كيميائية أخرى [٤٦]، [٤٩].

٦. بنك الجينات

لتهيئة بنك يحتوي على أجزاء حَمْض نووي تُمثل معظم الجينات التركيبية في كائن معين، يجب استخدام ناقل مناسب تبعًا لحجم القطع المراد هندستها. كما يجب أن يحتوي الناقل على منطقة للقطع بالإنزيم نفسه، المستخدَم لقطع الحمض النووي الكروموسومي؛ وعلى مورث مقاوم لمضاد حيوي واحد أو أكثر، أو غيره من الجينات التي تساعد على انتقاء النواقل الهجينة (النُّسخ Clones). يفتح الناقل بواسطة الإنزيم القاطع، كما هو وارد في تقطيع الحمض النووي الكروموسومي؛ ثم تخلط أجزاء الحمض النووي مع الناقل المفتوح، ويضاف إنزيم اللحام والمحلول الداريء الخاص به، ويحضن الخليط بدرجة حرارة مناسبة ولفترة مناسبة، اعتماداً على نوع إنزيم اللحام المستخدَم. يراعى استخدام كميات مناسبة من الناقل وقطع الإنزيمات الكروموسومي من أجل الحصول على كفاءة هندسية عالية. يَربط إنزيم اللحام أجزاء الحمض النووي الكروموسومي مع النهايات اللزجة للناقل، المتكونة من تقطيعه بالإنزيم القاطع. تنقل النواقل المهندَسة جينيًا إلى عوائل Hosts، وهي عادة البكتيريا؛ ويراعى استخدام سلالة بكتيرية مناسبة للناقل. تدخل النواقل إلى البكتيريا المعاملة بالأملاح بطريقة خاصة تُستخدم فيها درجات حرارة منخفضة ـ وسط ـ منخفضة، تُزرع بعدها البكتيريا في وسط غذائي يحتوي على المضاد الحيوي المناسب، وتحضن الأوساط الغذائية لفترة ٢٤-٤٨ ساعة بدرجة حرارة مناسبة. تنمو البكتيريا المحتوية على البلازميدات



الشكل(٥):

خطوات بناء بنك الجينات.

المهندَسة جينيًا فقط على الوسط الزرعي؛ في حين تفشل البكتيريا الأخرى، التي لم تتمكن من «إعالة» الناقل، في النمو[41]،[42]،[48]. هكذا تُعزل مستعمرات البكتيريا المحتوية على النواقل المهندسة؛ إذْ إنّ كل مستعمرة ناشئة من خلية بكتيريا واحدة محتوية على پلازميد واحد أو أكثر تحتوي على جزء معين من الحمض النووي الكروموسومي. وبهذه الخطوة، يكون بناء البنك قد اكتمل. عندها تُنمّى البكتيريا في وسط غذائي سائل مع المضاد الحيوي؛ ثم تجمع بالطرد المركزي، وتُخزن تحت درجة حرارة منخفضة، (-٢٠) - (-٧٠) °س، بعد إضافة ٥٠٪ غليسرول (الشكل ٥).

٧. تشخيص النسخ الحاوية على جين معين

تستخدم طرق عدّة لتشخيص المستعمرات البكتيرية المحتوية على أجزاء حمض نووي هجينة، تحتوي بدورها على جين معين. وتُعدّ الطرق المناعية والتهجين النووي أشهر هذه الطرق.

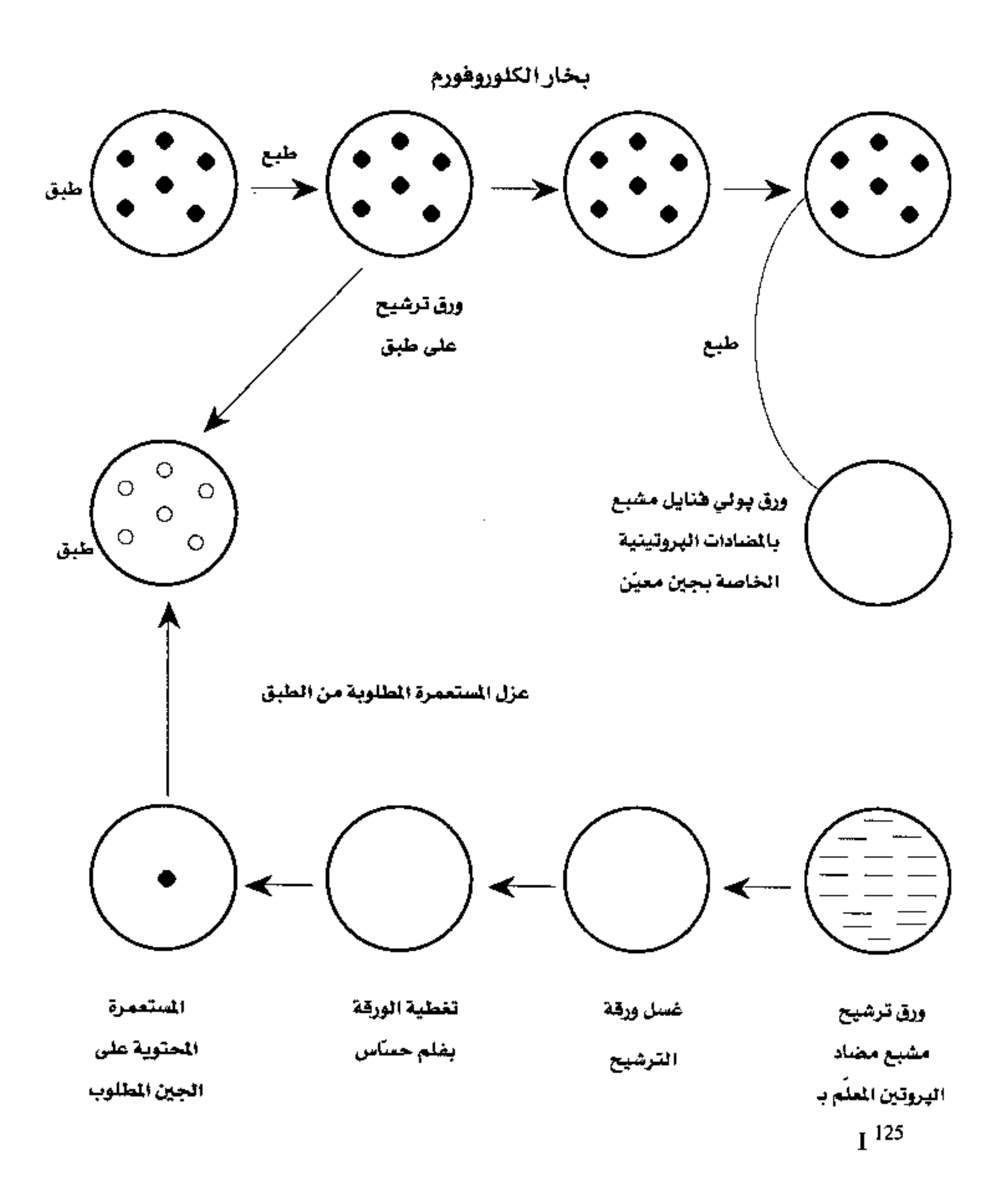
أ. الطريقة المناعية

تُستخدم هذه لعزل قطع الحمض النووي المهندَسة مع البلازميد، والمحتوية على جين له القابلية على التعبير داخل البكتيريا؛ إذ إنّ معظم الجينات الخاصة بالأحياء الحقيقية النوى لا تتمكن من التعبير عن نفسها في البكتيريا، لاختلاف المحفز لها عما هو موجود في الجينات البكتيرية. لذلك، فإن هذه الطريقة محدودة جداً. تُزرع كمية من خلايا الجينات على طبق زرعي مناسب، وتُكرر زراعة الطبق نفسه على طبق ثان بواسطة ورقة ترشيح. يؤخذ طبق واحد ويعرض على بخار الكلوروفورم؛ حيث يعمل البخار على تحليل المستعمرات البكتيرية وإطلاق البروتينات، ومن ضمنها بروتين الجين المطلوب عزله. تغطى المستعمرات المتحللة بعد ذلك بطقبة من ورق البولي ڤنايل المشبعة بالمضادات البروتينية الخاصة ببروتين الجين المراد عزله فقط؛ حيث يتفاعل هذا المضاد مع البروتين المعني لتكوين معقد مناعي على الورقة. تُزال الورقة بعد

ذلك وتعامل مع مضاد البروتين الموسّم بنظير اليود ١٢٥ (I^{125})؛ حيث يلتصق هذا المضاد المعقد المناعي في حالة وجوده. تغسل الورقة لإزالة المواد الزائدة العالقة بها. تجفف قليلاً، وتغطى بشريط فوتوغرافي حساس في غرفة مظلمة، وتحفظ في درجة حرارة منخفضة لبضعة أيام. تتكون إثر ذلك بقعة سوداء على الشريط الحساس بعد تحميضه، للدلالة على موقع المستعمرة البكتيرية المحتوية على البلازميد الهجين بجزء الحمض النووي الكروموسومي المهندس جينيًا، الذي يحتوي على الجين المطلوب (٤٤)، (٤٧)، (٥٣)، (٥٥). تُعزل المستعمرة في الطبق الأصلي (المكرر الثاني)؛ ويعاد استخلاص البلازميدات من البكتيريا، بعد تنميتها بأعداد كبيرة. ثم تفصل قطع الحمض النووي المهندسة جينيًا من البلازميدات، وتستخلص لإعادة قطعها كما سبق، من أجل عزل الجين المطلوب (الشكل ٦).

ب. طريقة التهجين النووي

تعتمد هذه الطريقة على استخدام مجس مُعلّم بنظير الفوسفور ٣٢ (P^{32}). المجس المستخدم هو عبارة عن الجين المطلوب عزله؛ لكنه مأخوذ من كائن آخر. فعلى سبيل المثال، يستخدم جين الإنسولين المعزول من الفئران أو الأرانب مسبراً للبحث عن الجين نفسه في خلايا الإنسان. تُزرع في هذه الخلايا كمية من بكتيريا بنك الجينات في طبق زرعي. بعد نمو البكتيريا، تغطى المستعمرات الناتجة بورقة نايترو سيليلوز؛ حيث تنطبع المستعمرات عليها. تهجن الخلايا المنقولة على الورقة باستخدام محلول تهجين خاص، يحتوي على المسبر الموسّم بنظير الفوسفور ٣٢. تغمر الورقة بمحلول التهجين، وتحضن لمدة ٢٤ ساعة بدرجة حرارة ٤٠-٦٥°س؛ ثم تغسل جيداً بمحاليل ملحية مضاف إليها صوديوم دوديسيل سلفيت، لإزالة المواد المشعة الزائدة. بعدها، تُغطّى الورقة بشريط حسّاس يُظهر المستعمرة المحتوية على الجين المطلوب كبقعة سوداء، بسبب ارتباط المسبر مع المورث المطلوب. تؤخذ المستعمرة المشخّصة من الطبق، وتزرع لزيادة أعداد البكتيريا؛ ثم تستخلص البلازميدات المهندسة جينيًا، ويقطع جزء الحمض



الشكل (٦):

خطوات الطريقة المناعية لعزل أجزاء الحمض النووي المحتوية على جين معيّن.

النووي المحتوي على الجين بالإنزيم القاطع المناسب، ويعزل ويعاد قطعه مرة أخرى بالإنزيمات لعزل الجين المطلوب. إضافة إلى الطريقة السابقة، توجد طرق أخرى يمكن استخدامها لاكتشاف الجينات المشخّصة للمرة الأولى. بعد عزل الجين المطلوب وتنقيته، يهندس مرة أخرى في نواقل أخرى تدعى نواقل التعبير، لكي يعبّر الجين عن نفسه [٥٧]،[٥٨]،[٦٠].

يُعنى بتعبير الجينات تمكين الجين المعزول من تصنيع البروتين المسؤول عنه. فتتمكن الجينات المعزولة من البكتيريا من التعبير، وذلك لتطابق محفزات الجينات بين الجين والبكتيريا؛ في حين لا تتمكن من ذلك الجينات المعزولة في الأحياء الحقيقية النوى، التي نُقلت إلى البكتيريا.

٨. أهم التطبيقات في مجال الصناعات الدوائية

في الأعوام العشرة الأخيرة من القرن العشرين، تزايد الاهتمام بتطبيقات هندسة الجينات في الصناعات الدوائية؛ خاصة بعد أن عرفت مواقع جينات عدّة في كائنات حية مختلفة. ومنْ ثمّ أصبح ممكنًا عزلها وهندستها جينيًا ونقلها إلى كائنات جديدة.

إن التطور في هذا المجال له أبعاده الاقتصادية الكبيرة؛ من حيث تطوير أنواع جديدة من الأدوية والمستحضرات الطبية، اعتماداً على التكنولوجيا الحيوية وهندسة الجينات. فمثلاً، أحدث إنتاج الإنسولين البشري عام ١٩٨٢، عن طريق الكائنات الدقيقة بعد إدخال جين الانسولين إلى داخلها، ثورة كبيرة في علاج مرض السكري [٦١]،[٦٢].

وباستخدام التكنولوجيا نفسها، أمكن إنتاج علاجات لكثير من الأمراض المستعصية والخطيرة التي كان يصعب علاجها.

إنتاج البروتينات العلاجية بهندسة الجينات

إن استخدام البروتينات علاجًا يثير التساؤل حول طريقة تناولها ومصيرها التركيبي والوظيفي عند استخدامها [٥٢]،[٥٤]. فلا ينصح باستخدامها علاجًا عن طريق الفم

للأسباب الآتية:

١. البروتينات سرعان ما تُهضم وتحُلل في أثناء مرورها في المعدة والأمعاء، بفعل الإنزيمات الهاضمة للبروتينات.

٢. لا يمكن امتصاص البروتينات من الأغشية المبطّنة في الأمعاء؛ لذلك، تؤخذ كل البروتينات المسموح بها كعلاجات عن طريق الحقن. وقد جرت محاولات ناجحة إلى حدّ ما لإدخال بعض البروتينات العلاجية إلى دم المريض عن طريق الاستنشاق (بخّاخ).

إن تصنيع البروتينات العلاجية التي تحقن في دم المريض يجب أن تكون على شكل بودرة جافة، يمكن إذابتها وتحويلها إلى محلول عند الحاجة؛ ما يعطيها القدرة على الاحتفاظ بفعاليتها لفترة طويلة.

يوضّح الجدول (٣) مجموعة من البروتينات العلاجية، المنتَجة بهندسة الجينات والمعتمدة من إدارة الغذاء والدواء الأمريكية FDA. وهي تشمل الهرمونات، والأمصال، والأجسام المضادة، وبعض الإنزيمات التي تستخدم جميعها علاجات.

الجدول (٣)

بعض العلاجات التي تُنتج بهندسة الجينات (٥٤).

Generic Name	Brand Name	Therapeutic Use /Year Approved
Human insulin	Humulin (Lilly) Novolin (Novo Nordisk)	Insulin-dependent diabetes (1982)(2002)
Human growth hormone	Protropin (Genetech) Humatrope (Lilly) Nutrophin (Genetech) Geno Tropin (Pfizer) .	Growth hormone deficiency in children (1985); growth retardation in chronic renal disease (1993) (1997)
Hepatitis B vaccine	Engerix-B (Smithkline Beecham)	Hepatitis B prevention (1986)
Interferon alfa-2a	Roferon-A (Hoffman-LaRoche)	Hairy cell leukemia (1986); AIDS related Kaposi's sarcoma (1988)
Interferon alfa-2b	Intron-A (Schering-plough)	Hairy cell leukemia (1986); AIDS related Kaposi's sarcoma (1988); chronic hepatitis, types B (1992) and C (1991); condylomata acuminata (1988)
Muromonab-CD3	Orthoclone OKT3 (Ortho)	Acute allograft rejecton in renal transplant patients (1986) and cardiac transplant patients (1993)
Alteplase	Activase (Genetech)	Acute myocardial infarction (1987); pulmonary embolism (1990)
Epoetin alfa	Epogen (Amgen) Procrit (Ortho)	Anemias of chronic renal disease (1989), AIDS (1991) and cancer chemotherapy (1993)
Interferon alfa-n3	Alferon N (Interferon Sciences)	Condylomata acuminata (1989)
Interferon gamma-1b	Actimmune (Genetech)	Chronic granulomatous disease (1990)
Filgrastim	Neupogen (Amgen)	Neutropenias due to myelosupppressive chemotherapy (1991); myeloidreconstitution after bone-marrow transplantation (1994)
Sargramostim	Leukine (Immunex)	Myleoid reconstitution after bone-marrow transplantation (1991)

Aldesleukin	Proleukin (Chiron)	Metastatic renal cell carcinoma (1992)
Antihemophiliac factor	KoGENNate (Miles) Recombinate (Baxter)	Hemophilia A (1992)
Interferon beta-1b	Bataseron (Berlex)	Multiple sclerosis (1993)
Dornse alfa Imiglucerase	Pulmozyme (Genetech)	Cystic fibrossis (Plumonary compica-tions) (1993)
Sargramostim	Cerezyme (Genzyme) Leukine (Immunex)	Type I Gaucher's disease (1994) Myleoid reconstitution after bone-marrow transplantation (1991)
Aldesleukin	Proleukin (Chiron)	Metastatic renal cell carcinoma (1992)
Antihemophiliac factor	KoGENate (Miles) Recombinate (Baxter)	Hemophilia A (1992)
Interferon beta-1b	Betaseron (Berlex)	Multiple sclerosis (1993)
Dornse alfa	Pulmozyme (Genetech)	Cystic fibrossis (Pulmonar complica-tions) (1993)
Imiglucerase	Gerezyme (Genzyme)	Type 1 Gaucher's disease (1994)

ب. وصف مبسط لكيفية الحصول على البروتينات العلاجية المذكورة بهندسة الجينات

١ . يُستخلص الجين المطلوب (مثال : جين الإنسولين من خلايا بنكرياس الإنسان)؛ ومن ثم يُقطع الحمض النووي بالإنزيمات القاطعة، ويُحدّد الجين المسؤول عن إنتاج الإنسولين.

٢ . تُستخلص نواقل هندسة الجينات، التي تحمل كثيراً من المعلومات الوراثية الضرورية للقيام بعملية نقل الجينات إلى داخل الأحياء الدقيقة؛ مثل : البكتيريا، والخميرة.[٥٠]

٣ . يُدمج الجين مع الناقل عن طريق إنزيمات اللحام، ويُنقل التركيب الجيني الناتج إلى العائل؛ وهو عادة البكتيريا. ويُراعى استخدام سلالة بكتيرية مناسبة للناقل. وتُعَدّ هذه البكتيريا لتقبل الناقل بالمعاملة بالأملاح بطريقة خاصة.

٤ . تزرع البكتيريا في وسط غذائي مناسب، وتحضن لفترة ٢٤-٤٨ ساعة .

٥ . تنمو البكتيريا المحتوية على النواقل المهندسة جينيًا فقط في الوسط الزرعي؛ في حين تفشل البكتيريا الأخرى، التي لم تتمكن من «إعالة» الناقل، في النمو .

٦ . تُعزل مستعمرات البكتيريا المحتوية على النواقل المهندسة؛ إذْ إن كل مستعمرة تنشأ من خلية بكتيرية واحدة تحتوي على ناقل واحد أو أكثر فيه جزء من الحمض النووي الكروموسومي .

٧ . تُنمّى البكتيريا المهندسة جينيًا في وسط غذائي سائل مع المضاد الحيوي المناسب؛ ثم تجمع بالطرد المركزي، ليُستخلص ناتج الجين (بروتين أو هرمون . . . إلخ)، ويُستخدم للعلاج .

٩. أهم التطبيقات في المجال الطبي

أدّى التطور المتسارع في مجال هندسة الجينات، خاصة تطوير أجهزة حديثة واختراعها، إلى دخول هذا العلم وتطبيقاته في المجال الطبي من أوسع أبوابه وبنجاح كبير .

ومن هذه الأجهزة :

- أجهزة لفصل الحمض النووي واستخلاصه؛ فجهاز Agarose gel electrophoresis يسهل استخلاص الحمض النووي المناسب، ومعرفة معلومات كثيرة عنه .

- جهاز فصل الحمض النووي، لمعرفة تسلسل Sequencing وحدات البناء المطلوب دراستها .

- جهاز لبناء عدد كبير من جزيئات الحمض النووي المماثلة للجزيء الأصلي . وهو جهاز تفاعل سلسلة البوليميراز Polymerase chain reaction .

- جهاز لبناء وحدات الحمض النووي وتصنيعها DNA synthesizer .

هذا إضافة إلى تطوير طرق مختلفة في مجال استخلاص الحمض النووي؛

وعملية الاستنساخ؛ وعمليات نقل الجينات إلى داخل الخلايا المصابة بمرض معين؛ . . . إلخ (٦١-٦٣).

أ. أهم منجزات الجينات في الطب

١ . استخدام جهاز تفاعل سلسلة البوليميراز لتشخيص بعض الأمراض الوراثية التي تنتج عن خلل في الحمض النووي: تؤخذ عينة من دم المريض أو أي خلية في جسمه، ويستخلص الحمض النووي منها، وتحلّل باستخدام هذا الجهاز، وتقارن النتيجة بعينات من إنسان غير مصاب. ومن الأمراض التي يمكن تشخصيها: مرض الثلاسيما Thelasemia، ومرض الكبد الوبائي Hepatitis؛ إضافة إلى إمكانية اكتشاف بعض الأمراض في مراحل أولية من عملية تكوين الجنين في الرحم Pre-implanting diagnosis.

٢ . إنتاج علاجات لبعض الأمراض بهندسة الجينات: من ذلك إنتاج هرمون إنسولين لعلاج السكري.

٣ . تطبيقات هندسة الجينات في مجال الطب الشرعي: حيث يجري تعرُّف مرتكبي الجرائم من خلال تحليل مادة الحمض النووي في الدم، أو الحيوانات المنوية، أو خلايا الشعر، وغيرها؛ خاصة أنّ هنالك احتماليةً ضئيلة جداً لتوافق مادة الحمض النووي لشخصين مختلفين.

٤ . العلاج الجيني Gene therapy:

في الأعوام العشرة الأخيرة من القرن العشرين، دخل العلاج الجيني مرحلة متطورة جداً؛ فأمكن إدخال الجينات السليمة إلى الخلايا المصابة، واستبدال الجينات السليمة بالجينات غير السليمة(٣، ٧). إن إدخال الجينات السليمة إلى خلية مصابة ليس بالأمر السهل؛ إذ تُجرى العملية بشكل عشوائي، وباستخدام أساليب إدخال مختلفة؛ منها:

أ. تطوير ڤيروسات حاملة للجينات (ڤيروسات مهندسة جينيًا): يحمل مثل هذا الڤيروس الجين المراد إدخاله، ويهاجم الخلايا المصابة؛ ويدخل الجين المطلوب إلى

داخل الخلية المصابة. (الفيروس مهندس جينيًا، كي لا يسبب أمراضًا أو أية مشكلات صحية للمريض.)

ب. وضع الجين (الحمض النووي) داخل حويصلات دهنية Liposomes وإدخالها إلى الخلايا المصابة: حيث تساعد في دخول الجنين إلى الخلايا المصابة، واستبدال الجين الطبيعي أو السليم Normal gene.

ج. إذا كان الخلل الوراثي في خلايا الدم، مثلا، يمكن أخذ هذه الخلايا إلى خارج جسم المريض، وإجراء التغيير الجيني فيها؛ ثم إرجاعها إلى داخل جسم المريض ثانية.

د. حقن المريض بمادة الحمض النووي مباشرة: حيث يستهدف الحمض النووي الخلايا المصابة التي تحتوي على مستقبلات خاصة له [٦٤]، [٦٥].

ب. النواقل التي تستخدم في العلاج الجيني Vectors used in gene therapy

يوضح الجدول (٤) قائمة بأسماء النواقل التي تستخدم في إدخال الجينات إلى داخل الخلايا المستقبلة في المريض. هذه النواقل ڤيروسية أو غير ڤيروسية.

الجدول (٤) [٢٧]

النواقل المستخدمة في إدخال الجينات إلى داخل الخلايا المستقبلة في المريض.

Viral-based vector systems	Non-viral-based vector systems
Retroviruses	Nuclei acids containing liposomes
Adenoviruses	Molecular conjugates
Adeno-associated viruses	Direct injection of naked DNA
Herpesviruses	$CaPO_4$ precipitation
Polio viruses	Electroporation
Vaccinia viruses	Particle acceleration

ومن أهم هذه النواقل الڤيروسية مجموعة Retroviral vectors؛ وذلك للأسباب الآتية:

- إن الكيمياء الحيوية والجزيئية لها معروفة ومدروسة بشكل كبير.
- نستطيع إدخال الجينات بسهولة إلى الخلايا المنقسمة.
- تصل نسبة انتقال الجينات من خلال هذه الڤيروسات إلى ١٠٠٪.
- عند دخول الجين إلى داخل الخلايا، يستطيع البقاء بفاعلية ونشاط لفترة طويلة.
- تُدخل بإدخال الجينات إلى داخل الخلية بشكل عشوائي.
- لها القدرة على الدخول إلى أكثر من نوع من الخلايا.
- ليس لهذه المجموعات من الڤيروسات المحسّنة جينيًا أية جوانب سلبية من حيث مفهوم السلامة.

ج. العلاج الجيني والأمراض السرطانية [٦٣]

نظراً لخطورة مرض السرطان وارتفاع نسبة الإصابة به في العالم، فإن العلاج الجيني يركز على الأمراض السرطانية أكثر من الأمراض الأخرى التي لها مسبب جيني. فعلاج الأمراض السرطانية عن طريق الجينات بدأ عام ١٩٩١ في الولايات المتحدة الأمريكية. ووضعت استراتيجيات عدّة لهذا الغرض؛ منها:

- إجراء تعديل جيني في خلايا الدم البيضاء Lymphocytes، لتحفيزها على العمل ضد الأورام السرطانية.
- تعديل بعض خلايا الأورام للتحكم بمدى تفاعلها مع جهاز المناعة.
- إدخال الجينات المثبِّطة Tumor suppressor genes إلى الأورام السرطانية.
- إدخال جينات تنتج مواداً سامة Toxin genes إلى داخل الأورام السرطانية لتدمير خلاياها.

وهنالك الكثير من الطرق والاستراتيجيات الأخرى قيد الدراسة في الوقت الحاضر [٦٦]،[٦٧].

د. تشخيص الأمراض الوراثية

تمثل الأمراض الوراثية أحد أهم الفروع الطبية، نظراً لعدم توافر طرق التشخيص الملائمة، وصعوبة علاج الكثير منها. ومن أهم الأمراض: فقر الدم المنجليّ Sickle cell anemia، والثلاسيما. وقد أجريت على هذين المرضين الكثير من البحوث التي بينت أسباب حصولهما (طفرات وراثية). وباستخدام هندسة الجينات، أصبح بالإمكان التشخيص المبكر لهذه الأمراض في المرحلة الجنينية؛ حيث تؤخذ عينة من خلايا الجنين ويستخلص الحمض النووي منها، بعد تكثيرها مخبريًا، ثم يُقطع بإنزيمات معينة. وباستخدام مسبر معلّم اشعاعيًا (جين بيتا ـ غلوبين في فقر الدم المنجليّ)، فإنه يمكن الكشف عن وجود هذا المرض. وتستخدم تكنولوجيا هندسة الجينات في متابعة الكثير من الأمراض التي ترتبط بعيوب وراثية؛ مثل: الطفرات الوراثية، أو الانتقال الكروموسومي، أو تنشيط جينات غير طبيعية. وتُعدّ بحوث السرطان باستخدام هذه التكنولوجيا من التطبيقات الرائدة في هذا المجال. علاوة على ذلك، فإن هندسة الجينات تُستخدم الآن في مشروعات كبيرة تهدف إلى وضع خرائط كروموسومية، تبين مواقع الجينات البشرية عليها. كما تُستخدم في مجال تحديد القرابة، ومتابعة المجرمين والجرائم، باستخدام طريقة بصمة الحمض النووي DNA-fingerprint.

هـ. مشروع الخريطة الجينية للكروموسومات البشريّة

بُدئ عام ١٩٩٠ بمشروع ضخم، هدف إلى معرفة تسلسل النيوكليوتيدات في الحموض النووية في المادة الوراثية للإنسان. وعُرف هذا باسم Human Genome Project. وهو مشروع عالمي شاركت فيه اليابان ودول أوروبية عدة والولايات المتحدة الأمريكية. وانتهى العمل به في سنة ٢٠٠٠. وساعد هذا المشروع في تحديد مواقع الجينات ووظائفها وعملها وعَلاقتها ببعضها بعضًا، وتحديد الجينات المسبّبة للأمراض الوراثية المختلفة.

إنّ ما تحقق من إنجازات هائلة في هندسة الجينات في القرن العشرين هو ثورة

حقّقت الكثير لخدمة البشرية في مجالات الحياة المختلفة؛ مثل: الطب والصحة، والبيئة، والصناعة، وغيرها. وسيشهد القرن الحادي والعشرون إنجازات أكبر مع التطوّر في التكنولوجيات والأجهزة المختلفة، التي ستسهّل وتسرّع تحقيق أهداف كبيرة ومهمة؛ مثل: تطوير العلاج الجيني، الذي سيساهم في علاج كثير من الأمراض الوراثية المستعصية؛ والتطوّر في مجال المحافظة على البيئة من الملوّثات المختلفة، كتحليل متبقيات المبيدات في التربة باستخدام بكتيريا معدّلة جينيًا؛ وغير ذلك الكثير.

المراجع

1. Ames, B.N., McCann and E. Yamasaki. 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the *Salmonella*/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mut. Res.* 31:347-364.

2. Anderson, W.F. and E.G. Diacuakos. 1981. Genetic engineering in mammalian cells. *Scientific American* 245:60-93.

3. Anderson,W, 1995. Gene therapy. *Scientific American,* September, 96-98.

4. Ashwell, M. T. W. Work, 1970. The biogenesis of mitochondria . *Ann. Rev. Biochem.* 39: 251-290.

5. Avery, O.T, C.M. MacLeod and M. McCarty. 1944. Study on the chemical nature of substance inducing transformation in pneumococcal types. *J. Wxpl. Med.* 79: 137 - 158.

6. Bishop, J.M. 1982. Oncogenes. *Scientific American* 246:80-92.

7. Blaese, R. 1997. Gene therapy for cancer. *Scientific American* , June, 91-95.

8. Breathnach, R. and P. Chambon. 1981. Organization and expression of eukaryotic split genes coding for proteins. *Ann. Rev. Biochem.* 50:349-383.

9. Brown, D.D. 1981. Gene expression in eukaryotes. *Science* 211:667-674.

10.Brown, T.A. 1986. *Gene Cloning: An Introduction.* Van Nostrand Reinhold, UK.

11. Bukhari, A.I., J.A. Shapiro and S.L. Adhya. 1977. DNA insertion elements, plasmids and episomes. Cold Spring Harbor Labrotary Press, Cold Spring Harbor, NewYork.

12. Carins, J., P. Robins, B. Sedgwick and P. Talmud. 1981. The inducible repair of alkylated DNA. *Prog. Nucl. Acid Res. Mol. Biol.* 26:237-244.

13. Clarke, L. and J. Carbon. 1976. A colony bank containing synthetic Col El hybird plasmids representative of the entire *E. coli genome, Cell* 9:91-99.

14. Cleaver, J.E. 1976. Defective repair replication of DNA in Xeroderma pigmentosum. *Nature* 219: 652-656.

15. Cohen, S.N. 1975. The manipulation of genes. *Scientific American* 233:24-33.

16. Couturier, M. 1976. The integration and excision of the bacteriophage mu-l. *Cell* 7: 155-163.

17. Cox, M. and I. Lehman. 1981. Rec A protein of *E. coli* promotes branch migration: a kinetically distinct phase of DNA strand exchange. *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA 78:3433-3437.

18. Crick, F.H.C. 1966. Codon-anticodon pairing: the wobble hypothesis: *J. Mol. Biol.* 19:548-555.

19. Crick, F.H.C. and J. D. Watson. 1954. The complementary structures of DNA, *Proc. Roy. Soc.* (A) protein. *Cell* 25: 507-516.

21.Davidon, E.H. and R. J. Britten. 1976. Regulation of gene expression possible role for repetitive squences. *Science* 204:1052-1059.

22.Davis, R. W., R. B. Waring, J. A. Rat, T. A. Brown and C. Scazzocchio. 1982. Making ends meet: a model for RNA splicing in fungal mitochondia. *Nature* 300: 719-724.

23. Davis, M.M., S.K. Kim and L. Hood. 1980. Immunoglobulin class switching: developmentally-regulated DNA re-arrangements during differentation. *Cell* 22: 1-2.

24. Denniston, C. 1982. Low level radiation and genetic risk estimation in man. *Ann. Rev. Genet.* 16: 329-355.

25. Darke, J. W. 1970. The molecular basis of mutation. Holden-Day, San Francisco.

26.Dressler, D. and H. Potter. 1982. Molecular mechanisms in genetic recombination. *Ann. Rev. Biochem.* 50: 727-761.

27. Dykes, C. 1996. Genes, disease and medicine. *Br. J. Clin. Pharmacol.* 42 (6), 683-695.

28. Fox, M. S. and M. K. Allen. 1964. On the mechanism of deoxyribonucleate integration in *Pneumococcal* transformation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA 52; 412-419.

29. Freifelder, D. 1983. *Molecular Biology: A Comprehensive Introduction to Procaryotes and Eucaryotes,* Boston, MA. Science Books International.

30.Glibert, W.D and D. Dressler. 1968. DNA replication: the rolling circle model. Cold *Spring Harbor Symp, Quant, Biol.* 33: 473-484.

31. Gold, L., D. Pribnow, T. Schneider, S. Shinedling, B. S. Sineger and G. Stormo. 1981. Translational initiation in prokaryotes. *Ann. Rev. Microbiol.* 35: 365-403.

32. Goodenuough, U.W. and K. R. P. Levine. 1970. The genetic activity of mitochondria and chlorophlasts. *Scientific American* 223: 22-29.

33. Hall, B. D., S. G. Clarkson and G. Toccini-Valentini. 1982. Transcription initiation of eukaryotic transfer RNA genes. *Cell* 9: 3-5.

34.Haseltine, W. 1983. Ultra Violet light repair and mutagenesis revisited. *Cell* 33: 13-17.

35. Hershey, A. D.D and M. Chase. 1952. Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriphange. *J. Gene Physiol.* 36-56.

36. Holliday, R. 1964. A mechanism for gene conversion in fungi. *Genet. Res.* 5: 282-304.

37. Howard-Flanders, P. 1981. Inducible repair of DNA. *Scientific American* 245: 72-80.

38. Howard-Flanders, P., S. West and A. Stasiak. 1984. Role of Rec A protein spiral

filaments in genetic recombination. *Nature* 309: 215-220.

39. Huberman, J. A. and D. Riggs. 1968. On the mechanisim of DNA replication in mammalian chromosomes. *J.Mol. Biol.* 32: 327-341.

40. Jacob, F. and J. Monod. 1961. Genetic regulatory mechanisms in the stnthesis of proteins. *J. Mol. Biol.* 3:318-356.

41. Jelinck, W. R. and C. W. Schmid. 1982. Repetitive sequences in eukaryotic DNA and their expression. *Ann. Rev. Biochem.* 51:813-844.

42. Klechner, N. 1981. Transposable elements in prokayotes. *Ann. Rev. Genet.* 15:341-404.

43.Kilter, R. and G. Yanofsky. 1982. Attenuation in amino acid biosynthetic operons. *Ann. Rev. Genet.* 16: 113-134.

44. Kornberg, A. 1980. *DNA Replication.* Freeman, San Francisco.

45. Kornberg, R.D. and A. Klug. 1981. The nucleasome. *Scientific American* 244:52-64.

46. Kruger, K., P.J. Grabowskin, A. J. zaug, J. Sands, D. E. Gottschling and T. R. Cech. 1982. self-splicing RNA: Autoexcision and sequence of tetrahymna. *Cell* 31: 147.

47. Ledberberg, J. and E. M. Lederberg. 1952. Replica plating and indirect selection of bacterial mutations. *J. Bacteriol.* 63: 399-406.

48.Lindahl, T. 1982. DNA repair enzymes. *Ann. Rev. Biochem.* 51: 61 - 87.

49. Little, J. W. and D. W. Mount. 1982. The SOS regulatory system of *E. Coli. Cell* 29: 11 - 22.

50.Maniatis, T. and M. Ptashne. 1976. A DNA operator reressor system. *Scientific American* 234:64-76.

51. Maniatis, T., E. F. Fritsch and J. Sambrook. 1982. *Molecular Cloning: Laboratory Manual.* Cold Spring Harbor, New York.

52. Manning, M.C., Patel, K., and Borchardt, R. T.: Review of the stability of protein pharmaceuticals. *Pharm. Res.*, 6:903, 1989.

53. Meselson, M.S. and F. W. Stahl. 1958. The replication of DNA in *E. coli. Proc. Natl. Acad. Sci.* USA 44: 671-682.

54. Mossinghoff, G.J. 1993: Biotechnology medicines in development. Pharmaceutical Manufacturer's Association.

55. Nash, H. A. 1981. Integration and excision of bacteriophage lambda: the mechanism of conservative site-specific recombination . *Ann. Rev.* Genet. 15: 143-167.

56. Nirenberg, M. W. 1963. The genteic code II. *Scientific American* 208: 80 - 94.

57. Novick, R.P. 1980. Plasmids. *Scientific American* 243: 102-127.

58. Okazaki, T. and R. Okazaki. 1969. Mechanism of DNA chain growth. IV. Direction of synthesis of T4 short DNA chains as revealed by exonycleolytic degradation. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 64: 1242-1248.

59. Pabo, C. O. and M. Lewis, 1982. The operator-binding domain of Lambda repressor: Structure and DNA recognition. *Nature* 298: 443-447.

60. Platt, J. 1981. Temination of transcription and its regulation in the tryptophan operon of *E. coli. Cell* 24: 10 - 23.

61. Preer, J. P. Jr. 1971. Extrachromosomal inheritance: Hereditary symbionts, mitochondria, chlorophlasts. *Ann. Rev. Genet.* 5 : 361- 4-6.

62. Razin, A. and A. D. Riggs. 1980. DNA methylation and gene function. *Science* 210: 604 - 610.

63. Reece, B.J,. Campbell, N. A,. Mitchell, G. L. 1999. *Biology.* Fifth Edition. Benjamin/Cummings. USA.

64. Rosenberg S. 1997. Cancer vaccines based on the identification of genes encoding

cancer regression antigens. *Immunol. Today* 18 (4), 175-182.

65. Roth, J. R. 1974. Frameshift mutations. *Ann. Rev. Genet.* 8: 319-346.

66. Sancar G. B and W. D. Rupp. 1983. A novel repair enzyme: UVR ABC excision nuclease of E. Coli cuts a DNA strand on both sides of the damaged region. *Cell* 33: 249-260.

67. William, K.S., and Cummings, M.R. 2000. *Concepts of Genetics*, Sixth Edition, Prentice-Hall. USA.



الفصل الثّاني عشر

التكنولوجيا الحيويّة والهندسة الوراثيّة في مجالي الزّراعة والبيئة

أ. د. خليــل المغربي

أ. د. غاندي أنفوقة



التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية في مـجـالي الزراعـة والبـيـئـة

الأُستاذ الدّكتور خليل المغربي

الأُستاذ الدّكتور غاندي أنفوقة

ملخّص

تنوّعت التكنولوجيا الحيوية، التي يقصد بها إحداث تغيير في الجينات بعد هندستها وراثيًا، تمهيدًا لنقلها؛ حاملةً الصّفة المطلّوبة إلى النبات، أو الڤيروس، أو البكتيريا، أو الفطر، أو غيرها. وبعد عملية النقل، يُسَيْطر على تعبير الجين المنقول ليُحدث تأثيره في المضيف الجديد. وبناءً على الصفة المرغوب فيها المنقولة، ابتدع العلماء طرقًا متعدّدة لتغيير صفات النبات أو الحيوان أو الطعام، بهدف تحسينها.

ففي المجال الزراعي، استخدمت التكنولوجيا الحيوية لإنتاج نباتات ذات نوعية عالية؛ يمكن تخزينها لفترات طويلة، ومقاومة للأمراض والآفات الزراعية، وتتحمّل الجفاف والملوحة والصقيع والظروف البيئية المعاكسة؛ إضافة إلى إنتاج نباتات مقاومة لمبيدات الأعشاب. أما من الناحية الخدمية، فتستعمل التكنولوجيا الحيوية في مجال تشخيص الأمراض النباتية والحيوانية بكفاءة ودقة

عاليتين، وفي وقت قصير جداً؛ مقارنة بالطرق التقليدية المتبعة حاليّـاً. هذا، إضافة إلى استخدامات أخرى؛ من قبيل: إنتاج الأسمدة الحيوية، وتثبيت النيتروجين، وحماية الغابات.

وفي مجال الصناعات الغذائية، استخدمت التكنولوجيا الحيوية في إنتاج الڤيتامينات، والحموض الأمينية، والمنكهات، والأصباغ، وغيرها. واستخدمت أيضًا في التلاعب بالسعرات الحرارية، واكتشاف فساد الأغذية، ودراسة مسببات الحساسية.

أما في المجال البيئي، فتقدم التكنولوجيا الحيوية طريقة طبيعية لمعالجة المشكلات البيئية، التي تتراوح من تعريف الأخطار الحيوية، إلى المعالجة الحيوية للفضلات الزراعية والصناعية. ومن أمثلة ذلك: التحليل الميكروبي للمواد الكيميائية السامة، ومعالجة التربة الملوثة بالزيوت؛ إضافة إلى المعاملة الحيوية للمخلفات السائلة والصلبة والغازية. وتستخدم المعالجة الحيوية في الوقت الرّاهن على نطاق واسع في معالجة المياه العادمة، الناتجة عن الاستهلاك المنزلي، ومخلفات المصانع، والاستعمال الزراعي. ويمكن أيضًا الاستفادة من المعالجة الحيوية في إنتاج الطاقة (الغاز الحيوي)، عن طريق تدوير النُّفايات.

تُفصّل هذه الورقة معظم المنجزات العلمية في التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية في مجالي الزراعة والبيئة في القرن العشرين.

مقدمة

تنحدر التكنولوجيا الحيوية Biotechnology من سلف قديم. فقد ظهرت عَلاقة الإنسان بالميكروبات واستغلاله لها في الصناعة منذ زمن سحيق. فمنذ آلاف السنين، استخدم أناس من مختلف الحضارات الميكروبات بشكل منظم لصناعة الخبز، والجبن، والمشروبات الكحولية، والصبغات، والأدوية، والوقود، والمواد اللاصقة، والورق، والأسمدة (الشكل ١). وكان هذا أول استثمار للميكروبات في مجال الصناعة. إلا

أنه لم يُعرّفْ دور الكائنات الحية (الخميرة) في هذه العمليات إلا في القرن السابع عشر الميلادي . وكان ذلك على يدي أنطوني فان ليوڤنْهُوك Antony Van Leeuwenhoek (١٦٣٢-١٧٢٣)؛ ثم من بعده لوي پاستور Louis Pasteur (١٨٢٢-١٨٩٥)، الذي يعد الأب المؤسّس لعلم التكنولوجيا الحيوية . وفي نهاية القرن التاسع عشر، أُنتج الكثير من المركبات الصناعية المهمة؛ مثل : الإيثانول، وحَمْض الخليك، والحموض العضوية، والپيوتانول، والأسيتون؛ وذلك عن طريق تخمرات ميكروبية معرضة للبيئة تحت ظروف غير معقمة . وفي عام ١٩٤٠، برز اتجاه جديد في التكنولوجيا الحيوية، تمثل في إدخال طرق تقنية معقدة، بهدف إنتاج مواد معيّنة تحت ظروف معقمة . إلا أن هذه العمليات كانت تقتصر في بداية الأمر على تنمية الميكروبات في بيئة ما، وتغيير ظروف التربية، كالقيام مثلاً بإضافة عناصر غذائية معينة؛ ما يجعل الميكروبات تُنتج المزيد من المنتجات المطلوبة . أضف إلى ذلك تسليط الإشعاع على الميكروبات لزيادة معدل حدوث الطفرات؛ ومن ثمّ العثور على السلالات الفعالة، لكن من دون محاولة التلاعب بالمادة الوراثية للميكروب (الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى فهمي، ١٩٩٥)، و(يوكسين، ترجمة أحمد مستجير، ١٩٨٥)، و(سميث، ترجمة عبد العزيز أبو زنادة، ١٩٨٧).



الشكل (١)

صورة أثريّة تبيّن الفعاليّات التّخميريّة المختلفة.

عن (البصام، ١٩٩٦).

أما الآن، فقد أصبح بالإمكان تفصيل كائنات جديدة تقوم بمهمّات متباينة؛ مثل: صناعة البروتين البشري، والعيش على نُفايات البترول، وتحليل المبيدات، واستخلاص المعادن، ومهمّات صناعية محددة (يوكسين، ترجمة أحمد مستجير، ١٩٨٥).

ويلخص الجدول (١) أهم الأحداث والإنجازات في مجال التكنولوجيا الحيوية.

الجدول (١)

أهم الأحداث والإنجازات في مجال التكنولوجيا الحيوية.

١٨٦٩	عزل ميشر Miescher المادة الوراثية (الدنا DNA) لأول مرة؛ وأسماها نيوكلين Nuclein.
١٩٤١	أثبت إيفري Avery ومعاونوه أن الدنا هو المادة الوراثية، بتجارب التحول الوراثي في بكتيريا القولون.
١٩٤٩	أثبت تشارغاف Chargaff العلاقة بين كمية القواعد النيتروجينية من جزيء الدنا (C = G, A = T).
١٩٥٢	أثبت هيرشي Hershey أن الدنا هو المادة الوراثية في تجارب الاستنقال الوراثي (انتقال بالفاج).
١٩٥٣	أعلن واتسون وكريك Watson & Crick نموذج الحلزون المزدوج لتركيب الدنا.
١٩٦١	اكتشف مارمر وديوتي Marmur & Duty خاصية استعادة الطبيعة الأصلية Renaturation في جزيء الدنا المدنتر Denatured.
١٩٦٢	أعطى آربر Arber أول دليل على وجود إنزيمات القطع المحدِّدة DNA Restriction Endonucleases.
١٩٦٦	فكّ نيرنبرغ وأوتشوا وخورانا Nirenberg, Ochoa & Khorana الشيفرة الوراثية Genetic code.
١٩٦٧	اكتُشف إنزيم DNA ligase ، الذي يستخدم لوصل (لحام) شظايا الدنا ببعضها بعضاً.

١٩٧٠	اكتشف تيمين وميتزوتاني وبالتيمور Temin, Mizutani & Baltimore إنزيم النسخ العكسي المسمّى Reverse transcriptase، الذي أدى فيما بعد إلى الحصول على جينات تركيبية cDNA synthetic genes.
١٩٧٣	اكتُشفت تقنيات الاستنساخ Cloning لأول مرة.
١٩٧٤	اكتُشف أول تعبير عن جينوم Genome من أنواع مختلفة من البكتيريا.
١٩٧٥	أوجزت التعليمات الأمريكية الخاصة ببحوث الدنا (مؤتمر أسيلومَر Asilomar).
١٩٧٦	ـ أُنشئت أول مؤسسة لاستغلال تقنيات الدنا في الولايات المتحدة الأمريكية **Genetech**. ـ بُدئ في تأسيس المجموعة الاستشارية للتحكم الوراثي في المملكة المتحدة.
١٩٨٠	ـ دخلت كل من المملكة المتحدة والجمهورية الفدرالية الألمانية مجال التكنولوجيا الحيوية. ـ سجّل العرض الأول العلني لأسهم شركة **Genetech** رقمًا قياسيًا في بورصة الأوراق المالية في وول ستريت لأسرع زيادة في أسعار الأسهم (من ٣٥ إلى ٨٩ دولارًا أمريكيًا في غضون ٢٠ دقيقة).
١٩٨١	ـ جرى إعلان ١٩٨١ عام التكنولوجيا الحيوية.
	ـ دخلت كل من فرنسا واليابان مجال التكنولوجيا الحيوية. ـ أُسِّس اتحاد التكنولوجيا الحيوية الصناعية. ـ مع نهاية هذا العام، أُسّست ٨٠ مؤسسة جديدة للتكنولوجيا الحيوية.

١٩٨٢	ـ أُقرّ استخدام أول منتج صيدلاني ينتج بواسطة الدنا ـ وهو الإنسولين البشري ـ في الولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة. ـ أنتج سپاردلنغ Spardling دروسوفيلا محوّرة وراثيًا Transgenic .
١٩٨٣	ـ أول استخدام لجينومات نباتية، وإدخالها لنبات آخر مختلف النوع، وتعبيرها فيه. ـ أثبت سِش وألتمان Cech & Altman أن (رنا RNA) يمتلك خواص إنزيمية (حصلا على جائزة نوبل عام ١٩٨٩).
١٩٨٨	اختير واتسون منسقًا عامًا لمشروع الجينوم البشري.
١٩٨٩	تمكّن كولنز وتسوي Collins & Tsui من استنساخ جين التليف الحويصلي؛ وهو الجين الذي يؤدي أليلُهُ الطافر Mutant allele إلى موت طفل من كل ٢٠٠٠ طفل في الولايات المتحدة الأمريكية (مرض الطفولة المميت).

عن (سميث، ترجمة عبد العزيز أبو زنادة، ١٩٨٧) و (عبد التواب، ١٩٩٣).



التطبيقات العملية للتكنولوجيا الحيوية في مجال الزراعة

من المتوقّع أن تؤدي زيادة عدد السكان في المعمورة وارتفاع متوسّط الدخل إلى تضاعف الطلب على الغذاء والمواد الزراعية خلال النصف الأول من القرن الحادي والعشرين. وقد اعتمد التقدم الذي حصل في إنتاجية المحاصيل خلال القرن العشرين بشكل أساسي على التطبيقات في علم الوراثة التقليدية. أما اليوم، فقد غدت التكنولوجيا الحيوية هي المسؤولة عن زيادة الإنتاج الزراعي؛ وسيستمر ذلك خلال النصف الأول من القرن الجديد (Ruttan, 1999).

فوائد التطبيقات في مجال النباتات المهندَسة وراثيّـًا

١. إنتاج نباتات ذات مقاومة طبيعية للظروف البيئية؛ مثل: الحرارة المرتفعة، والبرودة الشديدة، وقلة الماء، ودرجة الملوحة العالية.

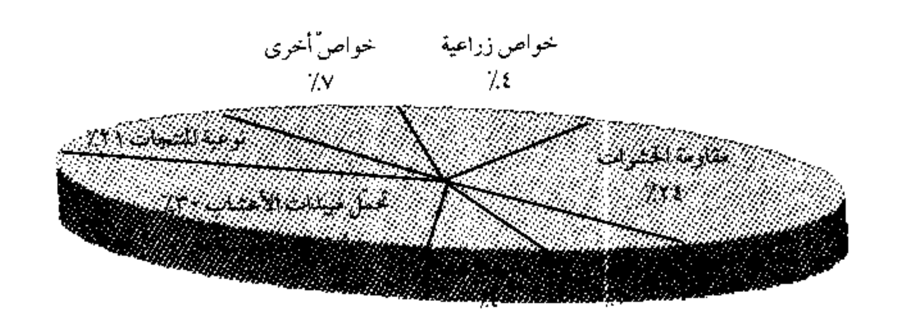
٢. الحصول على نباتات ذات مقاوَمة طبيعية للآفات، ونباتات مقاومة لمبيدات أعشاب معينة؛ ما يسمح باستعمال هذه المبيدات من دون أن تتأثر بها النباتات نفسها. وهذا من شأنه أنْ يؤدي إلى تقليل كميات مبيدات الآفات المستعملة؛ الأمر الذي يَعني تقليص كلفة الإنتاج وتخفيف الأعباء على البيئة.

٣. تقليل الحاجة إلى السماد بالحصول، مثلاً، على نباتات قادرة على أخذ النيتروجين مباشرة من الجو، بدلاً من امتصاصه من التربة.

٤. الحصول على أغذية ذات خصائص وظيفية معينة Functional properties، كما هو الحال في زيت الكانولا، والقهوة الخالية من الكافيين، وبطاطا تحتوي على نشا بخواص أكثر ملاءمةً للقلي بالزيت، وفراولة بمحتوى أعلى من السكر، وبازيلاء تحتوي على قدر أكبر من البروتين؛ أو إنتاج أغذية لها فوائد علاجية، بمحتوى عالٍ من الڤيتامينات أو المعادن أو بروتينات ذات جودة صحية واضحة.

٥ . إطالة فترة صلاحية المادة الغذائية بتأخير النضج ، أو بتثبيط إفراز الإنزيمات التي تؤدي إلى طراوة المنتَج .

ويغلب على تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في النباتات الحصول على نباتات ذات صفات فسيولوجية جديدة تكسبها مقاومة ضد أنواع محددة من الآفات ، أو القدرة على تحمّل مبيدات آفات محددة ، كما يبين الشكل (٢) (اليماني ، ١٩٩٩) .



الشكل (٢)

تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في مجال النباتات المحوّرة وراثيّـًا .

الثورة المندلية

قبل بداية القرن العشرين ، كان الاعتماد في زيادة الإنتاج الزراعي ينصب على زيادة رقعة المساحة المزروعة ؛ كما أدى نهوض بعض المزارعين بعملية الانتخاب إلى تطوير سلالات مناسبة لبيئة معينة . لكن إنتاجية المحاصيل مثل الحبوب لم تكن تتعدّى في المتوسط طنّيْن/ هكتار (٢٠٠ كغم/ دونم) . ففي الولايات المتحدة الأمريكية ، على سبيل المثال ، لم يتغير معدل الإنتاج من الذرة حتى ثلاثينيات القرن العشرين . وبعدها ، أُدخل هجين من الذرة يمتاز بمعدل إنتاج أعلى من تلك المزروعة . كذلك ، حصلت زيادة في الإنتاجية لمحاصيل أخرى غير الذرة .

ومع بدايات عام ١٩٩٠، كانت محاصيل عدة قد وصلت إلى أعلى سقف إنتاج ممكن. مثلاً، لم تحصل أية زيادة في إنتاج الأرز في الفلبين منذ ١٩٨٠؛ ومن ثمّ تركزت الجهود على زيادة الإنتاج عن طريق التحسين الوراثي، والإدارة، والمدخلات التقنية، كالأسمدة والري والمبيدات. وركز التحسين الوراثي على زيادة قدرة النبات على الاستجابة للمدخلات التقنية والإدارة. مثلاً، مكّن التغيير في بناء النبات، بجعله أقصر قوامًا وأوراقه أكثر انتصابًا، من زيادة عدد النباتات المزروعة في وحدة المساحة، وحَسَّن من الاستجابة للأسمدة؛ الأمر الذي أدّى إلى زيادة الإنتاج في وحدة المساحة. أما إذا أردنا كسر سقف الإنتاج، فإنّ ذلك يمكن أن يتحقّق عن طريق تحسين كفاءة عملية البناء الضوئي؛ وبالذات عملية امتصاص الطاقة الضوئية، وتقليل فقدان الماء بفعل النتح (Ruttan, 1999).

ثورة التكنولوجيا الحيوية (الثورة البيوتكنولوجية)

مكّن التطور في زراعة الخلايا والأنسجة، بشكل متوازٍ مع تطور تقنيات الأجسام المضادة «الأُحاديّة الاستنساخ» Monoclonal antibodies والـ (rDNA)، من إعادة إنشاء نباتات كاملة من خلية أو قطعة نسيج صغيرة. ومن المتوقع أنْ تتحقّق التطورات القادمة بإدخال جينات، أو التغيير بجينات، تحمل صفة المناعة ضد آفة ما أو مرض معين. هذه التطورات سوف تؤدي إلى زيادة ملحوظة في إنتاجية المحاصيل. مثلاً، كان أول محصول مقاوم للفيروسات نبات دخان مقاوم لمرض تبرقش الدخان الفيروسي أُدخل إلى الصين في بداية تسعينيات القرن الماضي. وقد توسعت هذه التطورات حاليّـًا؛ بحيث أصبحت النباتات المهندسة وراثيّـًا مقاومة لمبيدات الأعشاب، والآفات الحشرية، ومسببات الأمراض، وغير ذلك. وفي عام ١٩٩٨، كان هنالك حوالي ٢٨٠ مليون دونم زُرعت بنباتات مهندسة وراثيّـًا؛ خاصّة تلك المقاومة لمبيدات الأعشاب وللفيروسات. والنقطة المهمة التي يجب إدراكها هي أن

منتَجات التكنولوجيا الحيوية مصممة بشكل كامل لتمكين المنتَج من الاقتراب قدر الإمكان من أعلى سقف إنتاج فسيولوجي؛ وليس لرفع سقف الإنتاج الفسيولوجي (Ruttan, 1999).

لكنّ الدول النامية ما زالت غير قادرة حتى الآن على إجراء البحوث والقيام بأعمال التطوير اللازمة لتمكين المزارع من إدراك الزيادة في الإنتاج، الناجمة عن تحسين المحاصيل. فمعظم هذه الدول ما زال سقف الإنتاج فيه بعيداً عن سقف الإنتاج الحيوي. ومن ثمّ، فإنّ الوصول إلى الاكتفاء الذاتي يمكن تحقيقه من خلال استراتيجية استخدام طرق التهجين التقليدية، مقرونة باستخدام مستويات أعلى من المدخلات التقنية، والإدارة المثلى للتربة والمحصول؛ مع استخدام الجيل الأول من تقنيات وقاية النبات الحيوية. والجدير بالذكر أنّه جرى تحسين الكثير من الأغذية من خلال استخدام التقنيات الحيوية. على سبيل المثال، فإنّ معظم منتجات الأجبان الصلبة تُصنع باستخدام إنزيم تقني حيوي يسمى الكايموسين Chymosin. هذا الإنزيم يُنتج بواسطة بكتيريا مهندسة وراثيّـاً بكميات أكبر وبصورة أكثر نقاوة من نظيره الطبيعي، الأنفحة أو المنفحة Rennet (The Biotechnology Industry Organization, 1998). وفي شركات البذور، تستخدم التطبيقات الحديثة في التكنولوجيا الحيوية للمساعدة في تهجين النبات لتحقيق الأهداف التقليدية؛ إذْ يستخدم مربو النباتات التكنولوجيا الحيوية أداةً لزيادة فعالية الطرق التقليدية، وبالذات زيادة المقاومة ضد الأمراض والحشرات والظروف غير المناسبة، أو إضافة صفة جديدة كمقاومة مبيدات الأعشاب. ويمكن تلخيص الإنجازات التي حققتها التكنولوجيا الحيوية في هذا المجال فيما يأتي:

١ . تعريف جراثيم مورثة (جينات) جديدة لصفات مرغوب فيها (مثل مقاومة الحشرات وتحمّل مبيدات الأعشاب)، ودمج هذه الجينات مع الجرثوم المورث (جينوم) للمحصول، باستخدام التحويل الوراثي.

٢ . تطوير طرق دمج سريعة وفعالة للصفات المرغوب فيها، عن طريق الاستفادة من الواسمات Markers الجزيئية المنتقاة؛ بحيث تكون أقربها ارتباطًا بالجين.

٣ . الاستفادة من الواسمات الجزيئية في تعريف مواقع صفات كمية مهمة

Quantitative trait loci (QTL). ويعرف موقع الصّفة الكميّة بأنّه قطعة من الكروموسوم، تحمل مجموعة من الجينات ذات تأثير تراكمي في الصّفة الكمية (David, 1996).

ويختلف تقبّل المزارع للأفكار المتعلّقة بهذا الموضوع من فكرة لأخرى. فمثلاً، يعتمد تقبّله للأصناف الجديدة المتحملة لمبيدات الأعشاب على تحقيق الإنتاجية العالية. أما الأصناف المقاومة للحشرات، فيعتمد تقبلها على احتفاظ هذه الأصناف بمقاومتها، وعدم نشوء سلالة حشرية جديدة قادرة على كسْر هذه المقاومة (David, 1996).

استخدام التكنولوجيا الحيوية لإطعام العالم

في حين تقوم الدول المتطورة، كالولايات المتحدة الأمريكية والدول الأوروبيّة، بإنتاج كميات زائدة على حاجتها من المحاصيل الزراعية، كالأرز والذرة وغيرهما من الحبوب، فإن الكثير من الدول النامية ما زالت عاجزة عن تحقيق اكتفاء ذاتي في إنتاج هذه المحاصيل. وهذا العجز غالبًا ما يكون ناتجًا عن المناخ، أو غيره من العوامل البيئية التي تحد من إنتاج كميات كافية من المحاصيل. ويمكن حاليّا، باستخدام التكنولوجيا الحيوية، إنتاج نباتات قادرة على النمو في ظروف استثنائية، كالحر الشديد أو البرد القارس، عن طريق التغيير في المحتوى الجيني للنبات؛ ومن ثمّ فإنّ حُلُمَ تحقيق الاكتفاء الذاتي قد يصبح حقيقة لدول تعجز الآن عن إطعام شعوبها. إن زيادة الإنتاجية للمحاصيل، وتحسين قدرة النبات على النمو في بيئات متنوعة، والتقليل من استخدام المبيدات الكيميائية، وإنتاج محاصيل ذات قيمة غذائية عالية؛ كل هذا يجعل من التكنولوجيا الحيوية الزراعية تكنولوجيا المستقبل في تزويد العالم بالغذاء (Feldbaum, 1999).

المنافع البيئية من التكنولوجيا الحيوية الزراعية

توجد بروتينات عدة، سامة للآفات الحشرية فقط؛ في حين أنها عديمة الضرر

للإنسان وباقي الحيوانات. ومصدر هذه البروتينات هو بكتيريا تسمى *Bacillus thuringiensis* (Bt)؛ وتوجد هذه بشكل طبيعي في التربة. إنّ نقل الجينات، التي تشفّر لإنتاج هذه البروتينات، إلى النباتات سوف يجعل هذه النباتات قادرة على قتل الآفات التي تتغذى عليها؛ ومن ثمّ سوف يقلل هذا من اعتمادنا على المبيدات الكيميائية.

إن استخدام منتجات التكنولوجيا الحيوية الزراعية، مثل استخدام الأشجار اللُّبيَّة المحوّرة Modified pulp trees في صناعة الورق، سوف يمكن المصنعين من الحصول على منتجات عالية الجودة مع استخدام كميات أقل من الماء والمصادر الطبيعية؛ ومن إنتاج نفايات أقل في خط الإنتاج Production stream (Feldbaum, 1999).

التكنولوجيا الحيوية الزراعية حصيلة قرون من العلم

اعتمدت الزراعة التقليدية ـ لقرون خلت ـ على طرق التهجين المختلفة لتحسين النوعية وزيادة الإنتاجية. إلا أن هذه العملية مكلفة، وتحتاج إلى وقت طويل، وغير فعالة لإحداث الأثر المطلوب؛ إضافة إلى أنها عرضة لمعوقات عملية. علاوةً على ذلك، فإن عمليات مكافحة الآفات، كالحشرات ومسببات الأمراض والأعشاب، تتحقّق باستخدام المبيدات الكيميائية التي تؤثر سلبًا في البيئة. ويمكن، حاليًّا، نقل الجين المسؤول عن تصنيع المادة الكيميائية السامة من البكتيريا إلى النبات؛ ومن ثم ينتج النبات هذا البروتين الذي يحميه من الحشرات، من دون اللجوء إلى استخدام المبيدات (Feldbaum, 1999).

ويفضل معظم المزارعين استخدام تقنية (Bt) لسببين رئيسيين، هما:

١ . زيادة الإنتاج من خلال استخدام طرق مكافحة آفات متطورة.

٢ . تقليل كلفة استخدام المبيدات، واستخدام طرق صديقة للبيئة (Klotz-Ingram *et al.*, 1999).

تحسين المحاصيل

إن عملية دمج الهندسة الوراثية مع طرق التهجين الأخرى يمكن أن تنتج طُرقًا أسرع وأكثر دقة في إنتاج الأغذية، وأصناف جديدة من النباتات والحيوانات. على سبيل المثال، باستطاعة مربّي النباتات الآن إدخال صفة جديدة للنبات في غضون ما يتراوح بين ٥ و ٦ سنوات، بدلاً من الانتظار من ١٢ إلى ١٥ سنة؛ الفترة التي كان يستغرقها ذلك باستخدام الطرق التقليدية.

لقد أصبح الآن من الممكن تهجين محاصيل بصفات جديدة، مثل مقاومة الحشرات والأمراض والصقيع، باستخدام الهندسة الوراثية. وبات من ثمّ بالإمكان تقليل الحاجة إلى استخدام الكيميائيات في الزراعة؛ وفي الوقت نفسه تطوير أصناف قادرة على تحمل الحرارة المنخفضة والجفاف والإجهاد البيئي (Anonymous, 1999a).

المبيدات الحيوية

ثمّة مبيدات حيوية عدة حاليّـًا في الأسواق. وتعتمد منتجاتها على الأعداء الطبيعية (الميكروبات)، والحموض الدّهنيّة. وهذه المبيدات سامة للآفة المستهدفة فقط؛ في حين أنها غير مؤذية للإنسان، أو الحيوان، أو الأسماك، أو الطيور، أو الحشرات النافعة. أضف إلى ذلك أنّ هذه المبيدات تستخدم لمكافحة الآفات التي تكونت لديها مناعة ضد المبيدات الكيميائية؛ وذلك بسبب اختلاف التأثير السام Mode of actionفي الحشرات بين كل من المبيدات الحيوية والكيميائية.

كذلك، تستخدم الفرمونات في مكافحة الآفات الزراعية. والفرمونات مركبات طبيعية تفرزها الحشرات لجذب الذكور والإناث بعضها إلى بعض عند التزاوج. لذلك، فإنّه يمكن استخدام الفرمونات في مكافحة الآفات بجذبها بعيداً عن النبات. وفي السنوات الأخيرة، استُخدمت المصائد الفرمونية لمكافحة ذبابة الفاكهة في ولاية كاليفورنيا الأمريكية (Feldbaum, 1999).

تشخيص الأمراض النَباتيّة

تُستخدم الهندسة الوراثية في تشخيص الأمراض النباتية، وذلك عن طريق منتجات الخلية من الإنزيمات والأجسام المضادة. ويسهل هذا الاستخدام عملية تعريف مُسبِّبات الأمراض بشكل أسرع وأدق في كل من النبات والحيوان (Anonymous, 1999a).

مقاومة مبيدات الأعشاب

إن توفير الظروف الملائمة لنمو النبات من شأنه أنْ يدعم أيضًا النباتات غير المرغوب فيها في الحقل. ولمنع ذلك، يجب رش مبيدات الأعشاب، التي تُضاف مرات عدة خلال الموسم؛ ما يعني زيادة الكلفة على المزارع، والتأثير الضار في البيئة.

ويبين الجدول (٢) أمثلة على بعض منتجات التكنولوجيا الحيوية الزراعية، المطروحة في الأسواق.

الجدول (٢)

منتجات التكنولوجيا الحيوية الزراعية الموجودة في الأسواق، وتاريخ موافقة وزارة الزراعة الأمريكية USDA، وإدارة الغذاء والدواء FDA، ووكالة حماية البيئة EPA ، عليها.

الخاصية	المحصول	الإسم التجاري (الشركة)	موافقة USDA	استشارة FDA	التسجيل لدى EPA
نوعية الثمار	بندورة	(Calgene) Flavr Savr TM	٩٢/١٠	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
	بندورة	(DNAP) Endless Summer TM	٩٥/٠١	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
	بندورة	(Zeneca/Peto Seed)	٩٥/٠٦	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
	بندورة	(Monsanto)	٩٥/٠٩	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
	بندورة	(Agritope)	٩٦/٠٣	١٩٩٦	لا ينطبق عليه
	كانولا	(Calgene) Laurical ®	٩٤/١٠	١٩٩٥	لا ينطبق عليه
	فول الصويا	(Dupont) Optimum ® High Oleic	٩٧/٠٥	١٩٩٧	لا ينطبق عليه
زيوت خاصة	قطن	(Calgne) PXN ® igh Oleic	٩٤/٠٢	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
	فول الصويا	(Monsanto) Round-Up® Ready	٩٤/٠٥	١٩٩٤	لا ينطبق عليه
تحمل مبيدات الآفات	قطن	(AgrEvo) Liberty Lind TM	٩٥/٠٦	١٩٩٥	لا ينطبق عليه
	ذرة	(Monsanto) Round-up ® Ready	٩٥/٠٧	١٩٩٥	لا ينطبق عليه
	قطن	(Dekalb)	٩٥/١٢	١٩٩٦	لا ينطبق عليه
	ذرة	(Dekpont)	٩٦/٠١	١٩٩٦	لا ينطبق عليه
+ عقم في الذكور	قطن	(Plant Genetic Systems)	٩٦/٠٢	١٩٩٦	لا ينطبق عليه
+ عقم في الذكور	ذرة	(AgrEvo)	٩٦/٠٧	لا توجد معلومات	لا ينطبق عليه
	فول الصويا	(Calgene)	٩٧/٠٤	١٩٩٧	١٩٩٧
+ مقاومة الحشرات	قطن	(Monsanto)	٩٧/٠٥	١٩٩٦	لا توجد معلومات
+ مقاومة الحشرات	ذرة	(Asgrow) Freedom II TM	٩٤/١٢	١٩٩٤	١٩٩٤
مقاومة الفيروسات	قرع	(Asgrow)	٩٦/٠٦	لا توجد معلومات	لا توجد معلومات
	قرع	(Cornell U./U. of Hawaii)	٩٦/٠٩	لا توجد معلومات	١٩٩٧
	بابايا	(Monsanto) New Leaf ®	٩٥/٠٣	١٩٩٤	١٩٩٥
مقاومة الحشرات	بطاطا	(Ciba) Maximizer TM	٩٥/٠٥	١٩٩٥	١٩٩٥
	ذرة	(Mycogen) Nature Gard ®	٩٥/٠٦	١٩٩٥	١٩٩٥
	قطن	(Monsanto) Bollgard®	٩٥/٠٨	١٩٩٦	١٩٩٦
	ذرة	(Monsanto) Yield Gard ®	٩٦/٠١	١٩٩٦	١٩٩٦
	ذرة	(Northrup King) Yield Gard ®	٩٦/٠٥	١٩٩٦	١٩٩٦
	بطاطا	(Monsanto) NewLeaf ®	٩٧/٠٣	١٩٩٧	لا توجد معلومات
	ذرة	(Dekalb)			

عن (اليماني، ١٩٩٩).

تنهض الأحياء الدقيقة منذ آلاف السنين بدور رئيسيّ في تخمير الكثير من المواد الغذائية. والتخمير هنا يعني إنماء بعض الأحياء الدقيقة على مواد غذائية، وتحويلها إلى منتجات أخرى ذات طعم ونكهة ولون مختلفة؛ بحيث يمكن الاحتفاظ بهذه المنتجات مدة أطول (السلال و تقي الدين، ١٩٩٨). وتشمل هذه المنتجات اللبن، و الجبن، والكحول، والخبز.

أ. إنتاج اللبن

تعتمد عملية الإنتاج هذه في البداية على سكر اللاكتوز (سكر الحليب)؛ إذ تستخدم الأحياء الدقيقة هذا السكر وتحوله إلى حَمْض اللاكتيك، الذي يحول الوسط الغذائي في الحليب إلى وسط حَمْضيّ يتخثر فيه بروتين الكاسيين Casein الموجود في الحليب؛ ما يؤدي إلى تكوين خاثر (اللبن). وتُجرى عملية التخمر هذه بإضافة أنواع معينة من البكتيريا، مثل *Lactobacillus* spp. و *Streptococcus lactis*، إلى الحليب؛ حيث تُحضن في درجة حرارة ٣٧°س. وبعد عملية التخثر، تُبرَّد النواتج لوقف نشاط الأحياء الدقيقة فيها، ويحضّر اللبن بتعقيم الحليب؛ وذلك بتسخينه إلى درجة حرارة ٦٣°س لمدة نصف ساعة، ثم تركه ليبرد. وتضاف كمية محددة من البكتيريا *Lactobacillus bulgaricus* إلى الحليب المعقم؛ ثم يوضع في حاضنة عند درجة حرارة ٣٧°س، ويمكن عندئذٍ ملاحظة تخثر الحليب وتكون اللبن.

ب. إنتاج الجبن

تمتاز الأجبان بكثرة أنواعها، اعتمادًا على نواحٍ كثيرة متعلقة بإنتاجها. مثلاً، يمكن إنتاج الجبن بإضافة أنواع معينة من الأحياء الدقيقة التي تستهلك سكر اللاكتوز وتحوله إلى حموض مختلفة؛ ما يؤدي إلى تخثر الحليب. كذلك، يمكن إضافة إنزيم

الرينين، المستخرج من معدة العجل والمسمّى منفحة العجل، إلى الحليب بعد تعقيمه. ويعمل هذا الإنزيم على تخثير الحليب لإخراج الماء الزائد منه، وتركه لمزيد من التفاعلات الكيميائية حتى ينضج؛ وذلك بإضافة بعض أنواع الأحياء الدقيقة. وفي مرحلة النضج، يمكن إضافة بعض أنواع الفطريات أو أنواع معينة من البكتيريا المسماة *Propioni bacteria* التي تعطي نكهة خاصة، وتؤدي إلى تكوين العيون نتيجة احتباس الغاز الناتج من التفاعلات الكيميائية في طبقات الجبن الناضج؛ وهذا النوع من الجبن يسمى الجبن السويسري. كذلك، يمكن إضافة أنواع الفطر المسمى *Penicillium roqueforti* وحضانة الحليب في جو رطب لإنتاج الجبن المسمى Roqueforti cheese. وبالرغم من تعدد أنواع الجبن، فثمّة نوعان رئيسيان، هما: الجبن الطري Soft cheese، والجبن الصلب Hard cheese. ويعتمد إنتاج هذين النوعين على مدة الحضانة؛ إذ يحتاج إنتاج الجبن الطري إلى مدة تتراوح بين شهر واحد وخمسة أشهر؛ أما إنتاج الجبن الصلب فيحتاج إلى ما يتراوح بين ثلاثة أشهر واثني عشر شهراً.

ج. إنتاج الكحول

تنتج الخمور من تحول بعض أنواع السكر، كالغلوكوز (الموجود مثلاً في عصير العنب)، إلى ثاني أكسيد الكربون وكحول إثيلي. فبعد قطف العنب وطحنه لإنتاج العصير، الذي يحتوي تقريبًا على ما نسبته ١٠ـ٢٥٪ من السكر، يمكن إضافة أنواع معينة من الخميرة، مثل *Saccharomyces cerevisiae*، التي تقوم بعملية التخمير. ويمكن تعقيم مزيج العنب، قبل زراعته بالخمائر، بتعريض المزيج إلى غاز ثاني أكسيد الكربون. ويعتمد نوع الخمر الناتج على نوع المادة السكرية الخام الموجودة في العنب؛ فالعنب الأحمر، مثلاً، يمكن أن يعطي بعد التخمير الخمر الأحمر Red wine. كما يمكن أن يتعرض ناتج الخمر لأحياء دقيقة أخرى، ومن ثمّ لمزيد من عمليات التخمر الأخرى؛ منتجًا الشمبانيا Champagne أو الشيري Sherry، أو غيرهما. أما إنتاج البيرة، فيتحقّق باستخدام بعض الحبوب كالذرة أو الأرز أو الشعير؛ حيث يُحطّم النشا الموجود في هذه الحبوب بإضافة إنزيم الأميليز، ومن ثم تحويل السكريات الأولية إلى

كحول بواسطة الخمائر. كذلك، من الممكن أكسدة الكحول الإثيلي بواسطة أنواع معينة من الأحياء الدقيقة، مثل الأسيتوباكتر Acetobacter أو الغلوكونباكتر Gluconbacter، وذلك لإنتاج الخلّ Vinegar.

د. إنتاج الخبز

يعدّ التخمر الكحولي بواسطة الخميرة خطوة أساسية لإنتاج الخبز المنفوخ Raised bread؛ وهذه الخطوة تسمى تخمر العجين Leavening of bread. وكما هو معروف، تضاف كمية قليلة من الخميرة والماء إلى الطحين؛ ثم يعجن ويترك في جو دافئ ضروري لنمو الخميرة. وتقوم الخميرة بإفراز بعض الإنزيمات لتحطيم السكريات الناتجة من النشا وإعطاء كحول وثاني أكسيد الكربون، ويتطاير الكحول عند عملية الخَبز في الفرن جرّاء الحرارة العالية التي تقتل أيضًا الخميرة؛ في حين ينحبس بعض ثاني أكسيد الكربون، مؤديًا إلى انتفاخ الخبز.

دور الهندسة الوراثية في إنتاج الطعام

تؤدي المعالجة الوراثية لمزرعة البادئ Starter culture إلى زيادة معدلات التفاعلات وتحسين صفات المنتجات. ولا شك في أن للهندسة الوراثية دورًا مهمًّا في تحقيق هذا الهدف؛ فيمكن نقل الجينات الخاصة بإنتاج الڤيتامينات إلى ميكروبات البادئ، لتظهر في المنتج النهائي المدعم طبيعيًا. كذلك، يؤدي ربط جينات الليبيز والبروتييز بمزارع بادئ اللبن إلى إعطاء منتجات طيبة المذاق. كما يمكن تحسين صناعة الخبز بإنتاج سلالات عالية الثبات وسريعة التخمر (يوسف و الفيشاوي، ١٩٨٧).

دور التكنولوجيا الحيوية في الصناعات الغذائية

أ. إنتاج مواد متعدّدة التسكر Polysaccharides من الأحياء الدقيقة

المواد المتعدّدة التسكر مركبات كيميائية على شكل جزيئات تتصل فيما بينها بروابط سكرية، وتتراوح أوزانها الجزيئية بين بضع مئات وآلاف من الدالتونات. ومن أمثلة هذه السكريات: الغلوكان، والمانان، والنشا، والدكستران، والغلايكوجين، والسيليلوز. ولها أهمية بالغة في مجالات واسعة؛ مثل: صناعة العقاقير الطبية، والصناعات الغذائية، وغيرها من الصناعات (البصام، ١٩٩٦). وللأحياء المجهرية قابلية لإنتاج مثل هذه السكريات بطريقتين، هما:

١. تكوّن نواتج جانبية لنمو الأحياء المجهريّة في الوسط الغذائي. ويمكن استخلاص هذه النواتج باستبدال المذيبات العضوية. كما يمكن ترسيبها، ومن ثم تنقيتها، بطرق مختلفة؛ مثل: التنقية باستخدام الديلزة بواسطة الهلام Dialysis gel filtration، والترشيح الفائق Ultra-filtration، والطرد المركزيّ الفائق Ultra-centrifugation، وغيرها.

٢. استغلال المواد المتعددة التسكر الموجودة داخل الأحياء المجهرية؛ خاصة الخمائر التي تحتوي على ٨٠٪ من هذه المواد، وتمثل قرابة ٢٠٪ من وزن الخميرة *Saccharomyces cerevisiae*. ويمكن استخلاص المواد المتعددة التسكر بطرق كيميائية وإنزيمية عدّة (البصام، ١٩٩٦).

ب. الڤيتامينات

الڤيتامينات مركبات عضوية تنهض بدوْر رئيسيّ ومهمّ في نمو جسم الإنسان. ومن المعروف عن الأحياء الدقيقة أنّه، إضافة إلى وجودها في الكثير من أطعمة الإنسان المختلفة، فإن بعضها قادر على إنتاج الڤيتامينات، نظراً لحاجة هذه الأحياء إليها. وقد استطاع الإنسان تنمية هذه الأحياء الدقيقة؛ ومن ثم استخلاص الڤيتامينات من خلاياها (الجدول٣) (السلال و تقي الدين، ١٩٩٨).

الجدول (٣)

بعض أنواع الفيتامينات ومصادرها من الأحياء الدقيقة.

نوع الفيتامين	الأحياء الدقيقة المنتجة
B12	*Streptomyces griseus* *Propionibacterium frudenreichii* *Pseudomonas* sp.
Precursor of vitamin A	الطحالب
D	الطحالب
C	الطحالب الخضراء
K	الطحالب الخضراء

عن (السلال و تقي الدين، ١٩٩٨).

ج. الحموض الأمينية

تُستخدم الحموض الأمينية في تدعيم الأغذية؛ كما تستخدم عواملَ منكّهةً لها. وفي العادة، تستخلص هذه الحموض بالتحليل الكيميائي للبروتين، أو بطرق حيوية. وقد اقترب علم الوراثة التقليدي من إنتاج الحد الأعلى النظري لكل من اللايسين والغلوتامين. وعليه، تصبح الهندسة الوراثية الطريقة الوحيدة لزيادة معدلات الإنتاج (يوسف والفيشاوي، ١٩٨٧).

واتسم التأليف الحيوي للحموض الأمينية بواسطة الأحياء المجهرية بأهمية كبيرة في السنين الأخيرة. ولوحظ أن الأحياء المنتجة لهذه الحموض هي من النوع الذي يحتاج في نموّه إلى عامل نموّ معين Auxotrophic. كذلك، اكتشفت كيفية السيطرة على آلية

التأليف . لذلك ، كان الاهتمام متزايداً بإنتاج هذه الحموض ؛ خاصّة لما لها من أهمية كبيرة في تغذية الإنسان والحيوان (العكيدي ، ١٩٨٧) .

د . المنكّهات والأصباغ

إنّ إضافة المواد والمركبات الطبيعية أو الكيميائية إلى المواد الغذائية لزيادة درجة التذوق عملية معروفة منذ مدة طويلة . ومن أمثلتها : البهارات ، والهيل ، والقرنفل ؛ وغيرها من المواد التي تعطي الغذاء نكهة أو صبغة معينة ، أو التي لها تأثير في المادة الغذائية لحفظها من التلف . وقد أدت صعوبة الحصول على مثل هذه المواد بكميات كبيرة من جهة ، إضافة إلى ارتفاع أسعارها من جهة أخرى ، إلى توجّه البحوث لمحاولة الحصول على بدائلَ كيميائية لتلك المركبات الطبيعية . إلا أن هذه البدائل كانت لها تأثيرات سلبية في صحة الإنسان ؛ ما دفع الكثير من الباحثين والشركات إلى استغلال الأحياء الدقيقة ، كالبكتيريا والفطريات والخمائر ، لإنتاج تلك المركبات ؛ مثل : نكهة الخوخ والتفاح والنعناع وجوز الهند ، وفيتامين ج (حَمْض الإسكوربيك) ، وحمض اللاكتيك والستريك والخليك ، وغيرها (البصام ، ١٩٩٦) .

هـ . التلاعب بالسعرات الحرارية

استُخلص جين من أحد نباتات المنطقة الاستوائية خاصّ بإنتاج بروتين يعرف تجاريّاً باسم تالين Talin ، واسمه العلمي ثوماتين Thaumatin ؛ وهو أحلى من السكر بحوالي ٣٠٠٠ مرة . ويضاف بنسب ضئيلة لتحلية طعام مرضى السكري أو الراغبين في تقليل أوزانهم لانخفاض قيمته الغذائية ؛ إضافة إلى أن هذا البروتين سهل الهضم كغيره من البروتينات المشابهة . ومصدره الطبيعي بعض النباتات ؛ غير أنه يوجد فيها بتركيزات ضئيلة جداً . وقد أمكن زراعة هذا الجين في بكتيريا *Escherichia coli* لتنتج هذا البروتين بكميات وافرة (يوسف والفيشاوي ، ١٩٨٧) و (عبد العال ، ١٩٩٧) .

كذلك ، أُنتج زيت سعراته الحرارية قليلة ؛ وذلك بإنتاج حموض دهنية قصيرة

السلسلة، بدلاً من الحموض الدهنية الطويلة السلسلة في محاصيلَ مهمة؛ مثل: فول الصويا، والخردل. ويتوقع أن تصل القيمة التسويقية للزيت المنخفض السعرات الحرارية إلى ما يقرب من بليوني دولار خلال السنوات العشر القادمة (عبد العال، ١٩٩٧).

و. كشف فساد الأغذية

يستخدم مجس من الدنا DNA Probe له شيفرة تتعرف نوع الجرثومة الموجودة في الغذاء، في تعرُّف السموم التي تنتجها السالمونيلا *Salmonella*؛ وهي من أخطر أنواع السموم التي توجد في الأغذية الفاسدة. ويمكن استخدام المجس للتأكد من صلاحية الأغذية المحلية والمستوردة، قبل عرضها للبيع، حفاظًا على صحة المواطنين. كما يمكن استخدام الأجسام المضادة بالطريقة السابقة نفسها. وقد وضعت الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٩٦ قانونًا يعتمد على قاعدة علمية في الكشف عن فساد اللحوم والدواجن. والمعروف أن ما نسبته ٨٠٪ من الأمراض و٧٥٪من حالات الوفاة تنتج عن استهلاك اللحوم والدواجن الملوثة. ويمكن لتقنيات حيوية، مثل ELISA, PCR, DNA Probe والتّلألُؤ الكهركيميائيّ Electrochemiluminescence، أن تسهم في كشف فساد الأغذية. ويتراوح سوق الوسائل المعتمدة على التكنولوجيا الحيوية بين ٢٠ و٢٥ مليون دولار (عبد العال، ١٩٩٧).

ز. دراسة مسببات الحساسية

يجب إعطاء دراسة الحساسية ومسبباتها جانبًا من الانتباه، عند تقييم سلامة الأغذية المنتَجة بواسطة التكنولوجيا الحيوية. ويتطلب تحديدُ مسببات الحساسية في الأغذية المشتقة من نباتات وحيوانات وجراثيمَ محوَّرة وراثيًا فحصَ عدد من المعايير (Anonymous, 1992).

إن دراسة مثل هذه المعايير تسهل تعريف مسبب الحساسية المتوقع؛ لكن دراسة معيار

واحد لا تكفي للتأكد من وجود الحساسية أو عدم وجودها. لذلك، يجب أن تحتوي المعايير على:

١. مصدر المادة الوراثية المنقولة.

٢. الوزن الجزيئي: ويتراوح هذا لمعظم مسببات الحساسية بين ١٠,٠٠٠ و ٤٠,٠٠٠.

٣. تشابه التعاقب: تُجرى المقارنة بتعاقب الحموض الأمينية لمسببات الحساسية المتوافرة.

٤. لثبات بعد التصنيع والمعاملة الحرارية: تعدّ مسببات الحساسية غير الثابتة الموجودة في الأطعمة، التي تؤكل بعد الطبخ أو التي تخضع لعملية تصنيع قبل استهلاكها، أقلّ أهمية بسبب تكسرها عند معاملتها.

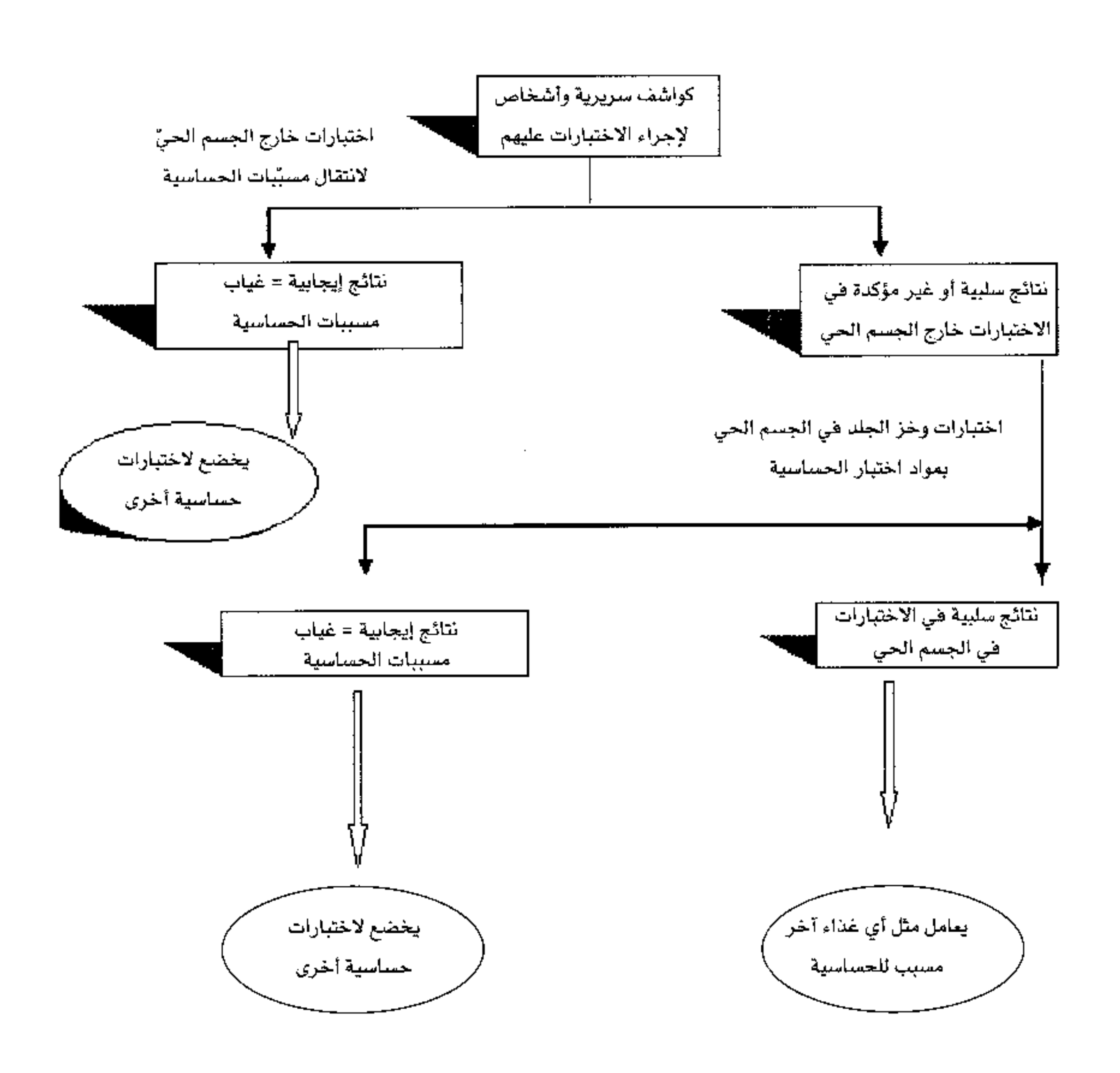
٥. تأثير الرقم الهيدروجيني أو العصارة المعديّة: فغالبية مسببات الحساسية مقاومة للحموضة المعديّة ولإنزيمات البروتييز الهاضمة.

٦. الانتشار في الغذاء: فالبروتينات الجديدة، في الأجزاء غير المأكولة من النبات، غير ذات أهمية من ناحية حساسية الأغذية.

وعند تقييم منتَج جين، يجب مقارنة تعاقب الحموض الأمينية فيه بتعاقبها في مسببات الحساسية المعروفة. أما الجينات التي تخلو من أي سجل تاريخي للتسبب في الحساسية، ولا تحتوي على أي تعاقب، وتحتوي على حموض أمينية قد تسبب الحساسية، فتعرض لاختبارات تقييم فيزيوكيميائي. فإذا وجد أن منتج هذا الجين يحتوي على صفات فيزيوكيميائية شبيهة بتلك الموجودة لدى مسببات الحساسية، فإنّ هذه المواد تعامل بحذر. كذلك، يجب توافر بضعة كواشف سريرية Clinical reagents لإدارة تقييم كاف عن احتمالية أن يصبح جين، مأخوذ من غذاء مسبب للحساسية، مسببًا للحساسية لشخص حساس للغذاء الذي أخذ منه هذا الجين.

وهكذا، فإنّ أي بروتين جديد منتَج من غذاء مسبب للحساسية يجب في البداية تعريضه لاختبارات خارج الجسم الحي *In vitro* تَستخدم أمصالَ أشخاص معروفين

بحساسيتهم للغذاء الذي هو مصدر البروتين؛ وذلك لمعرفة ما إذا كانت مسببات الحساسية قد انتقلت مع البروتين. فإذا كانت النتائج سلبية أو غير مؤكدة، عندها يجب إجراء اختبارات وخز الجلد في الجسم الحي *In vivo* بمواد اختبار الحساسية. أما إذا كانت نتائج الاختبار تبين خلو هذا الغذاء المعروف بأنه مسبب للحساسية من مسبباتها، عندها يجب أن يخضع هذا الغذاء للمزيد من الفحوصات التأكيدية. وأما تلك الأغذية التي تفشل في إعطاء نتائج موجبة في الاختبارات في الجسم الحيّ أو خارجه، فيجب أن تعامل مثل أي غذاء آخر من حيث تسبيب الحساسية. ويلخص الشكل (٣) ما سبق ذكره.



الشكل (٣)

اختبارات تقييم المنتجات باستخدام التكنولوجيا الحيوية.

تُسمّى النباتات المحوّرة وراثيًّا Transgenic plants، التي درج التعبير عنها بالكائنات المحورة وراثيًا (Genetically modified organisms (GMOs، المستعملة في إنتاج الغذاء، مسميات عدة منها: نباتات التكنولوجيا الحيوية Biotech plants، والنباتات المهندسة جينيًا Genetically engineered plants، للدلالة على أن هذه النباتات تحوي جينًا جديدًا لم يكن موجودًا في النبات الأصلي، أُدخل فيه باستعمال تقنيات الهندسة الوراثية. ويؤدي إدخال هذا الجين في المادة الوراثية للنبات إلى تغيير في طبيعته؛ بحيث يصبح قادرًا على إنتاج مواد مختلفة، أو حتى مواد جديدة؛ أو بحيث يصبح مُتمتِّعًا بخواص فسيولوجية جديدة لم تكن موجودة سابقًا (اليماني، ١٩٩٩).

ويوضح الشكل (٤) ملخصًا للطريقة المتبعة في الحصول على النباتات المغيَّرة جينيًّا.

اختيار الجين المطلوب وأخذه من مصدره، سواء أكان نباتًا أم حيوانًا أم كائنًا دقيقًا

↓

إدخال الجين في كروموسومات النبات المرغوب فيه بمسدس الجينات، أو باستعمال بكتيريا خاصة

↓

تنمية الخلايا المعدلة جيناتها في نبات

↓

تربية خلطية Cross breeding لقُرابة ٦ أجيال

↓

الحصول على الصنف المغير الذي يحوي الجين الجديد، مع مئات من الجينات الأصلية المرغوب فيها

الشكل (٤)

الخطوات الرئيسية في الحصول على النباتات المحورة وراثيًّا.

قُدرت الرقعة المزروعة بالنباتات المحورة وراثيًا عام ١٩٩٦ بنحو ٢٥ مليون دونم. وارتفعت عام ١٩٩٧ لتصل إلى ما يقرب من ٥ أمثال ذلك؛ أي إلى حوالي ١٢ مليون هكتار(١٢٠ مليون دونم). وتفيد معلومات اتحاد الصّويا الأمريكي أن ما نسبته ٣٠٪ من الأراضي المزروعة بالصويا، و٢٥٪ من الأراضي المزروعة بالذرة الصفراء، و٤٠٪ من الأراضي المزروعة بالقطن، سوف تزرع ببذور محوّرة وراثيًا. وتُعدّ الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وأستراليا والأرجنتين والمكسيك من الدول الرائدة في هذا المجال. ويبدو أن صناعة نباتات التكنولوجيا الحيوية في ازدهار وازدياد. فهنالك بعض الدوائر التجارية البريطانية التي تتنبأ بأن يصل حجم السوق العالمي لمنتجات هذه التكنولوجيا إلى ١٠٠ مليار دولار في غضون عامين؛ في حين تعتقد منظمة التكنولوجيا الحيوية الأوروبية أن حجم قطاع هذه التكنولوجيا سيصل إلى ٢٨٥ مليار دولار عام ٢٠٠٥ (اليماني، ١٩٩٩).

كيفية نقل الجينات المفيدة للنبات

بعد تعيين الصفة المرغوب فيها للنبات، لا بد من تحديد الناقل أو الحامل Vector الذي يستطيع حمل هذه الجينات إلى داخل النبات. ومن هذه النواقل: بكتيريا التدرن التاجي Crown gall المعروفة باسم *Agrobacterium tumefaciens*. وتصيب هذه البكتيريا أنواعًا كثيرةً من النباتات، وتسبب لها أورامًا في المنطقة التاجية من النبات.

وآلية حدوث الورم هي كالآتي: تحتوي البكتيريا على پلازميدات خاصة تسمى الپلازميدات المسببة للأورام Ti = Tumor-inducing plasmids. وتتكون هذه الپلازميدات من حلقات من الدنا تحتوي على نحو ٢٠٠٠٠٠ bp من النيوكليوتيدات، يوجد منها في منطقة تسمى منطقة "T" ٢٠٠٠٠ bp فقط من النيوكليوتيدات، تقوم بإنتاج صفة الورم. وتعمل البكتيريا على غرس الجينات الخاصة بتكوين الأورام في جينوم النبات؛ ما يؤدي إلى تكون الأورام. والپلازميدات Ti مهمة بالنسبة للهندسة الوراثية؛ إذ بإمكاننا وصل الجين، المراد نقله إلى نبتة معينة، بمنطقة T؛

وبذلك، ينتقل هذا الجين إلى كروموسوم النبات. وعند التعبير عن هذا الجين، تظهر الصفة الجديدة في الخلايا المتحولة (العمري وآخرون، ١٩٩٦).

وبشكل عام، فإن مجالات استخدام التكنولوجيا الحيوية في الزراعة متعددة وواسعة؛ نذكر منها:

١. التسميد الحيوي (المخصبات الحيوية).

٢. تلقيح الأراضي المستصلحة بفطر الميكورايزا Mycorhiza للاستفادة من العناصر الغذائية.

٣. استخدام الهندسة الوراثية في تثبيت النيتروجين.

٤. مكافحة الآفات الزراعية.

٥. زراعة الأنسجة Tissue culture.

٦. حماية الغابات والحفاظ عليها.

٧. التقييم البيئي للمنتجات الزراعية المنتجة باستخدام التكنولوجيا الحيوية (التجربة الكندية).

أولاً: التسميد الحيوي

توفر الكائنات الحية الدقيقة العناصر الغذائية للنبات، بدلاً من استخدام الأسمدة الكيميائية التي تتزايد أسعارها كل عام. وبذلك، يتحقق هدفان: أحدهما اقتصادي؛ وهو خفض الكلفة عن طريق التقليل من استخدام الأسمدة، وزيادة إنتاج المحصول، وسرعة نموه. والثاني هدف بيئي؛ وهو الحدّ من التلوث البيئي، لأن الزيادة في استخدام الأسمدة الكيميائية تؤدّي إلى فقدان جزء منها مع المياه الجوفية؛ ما يضر بصحة الإنسان والتوازن البيئي. ومن المعروف أنّه يُحصل على النيتروجين من الجو عن طريق الكائنات الدقيقة: إما بشكل عقد بكتيرية في حالة النباتات البقولية؛ أو من الميكروبات الحرة المثبتة للنيتروجين الجوي (الرجوي، ١٩٩٤).

أنواع الأسمدة الحيويّة

يذكر الرّجوي (١٩٩٤) أسمدة حيويّة عدّة، منها:

١ . الميكروبين: يتكوّن من مجموعة كبيرة من الكائنات الحيّة الدّقيقة، التي تزيد من خصوبة التّربة عن طريق تثبيت النيتروجين الجوي، وتحويل الفوسفات والعناصر الصغرى إلى صورة صالحة لامتصاص النّبات؛ كما تعمل على مقاومة بعض أمراض التربة.

٢ . الفوسفورين: يحتوي على بكتيريا نشطة جداً في تحويل الفوسفات الثلاثي الكالسيوم غير الميسّر للنبات إلى فوسفات أحادي الكالسيوم ميسّر للنبات. وسرعان ما تتكاثر هذه البكتيريا، وتنتشر في منطقة جذور النبات، وتمده بالفوسفور في أثناء مراحل نموّه المختلفة. وبذلك، فإنه يمكن ـ باستخدام هذا المخصب ـ تخفيض معدلات استخدام الأسمدة الفوسفاتية المختلفة.

٣ . العُقَدين: يحتوي على بكتيريا العقد الجذرية، ويستخدم مع المحاصيل البقولية الصيفية والشتوية؛ ويمكن أن يخلط مع الفوسفورين للحصول على فائدة مزدوجة. ويجب إضافة جرعة تنشيطية من السماد النيتروجيني (٤٠٠ – ٥٠٠ كغم نيتروجين/ دونم) عند الزراعة. وبعد ٢٥ يومًا من الزراعة، تُفحص جذور النبات. فإذا تكونت ١٠ عقد لكل نبات أو اكثر ذات لون أحمر من الداخل، يُعدّ التلقيح ناجحًا. وعندها يُكتفى بالجرعة التنشيطية من السماد النيتروجيني؛ لأنّ زيادة النيتروجين على ذلك من شأنها أن تعمل على تثبيط فعالية العقد الجذرية. أما في حالة عدم نجاح التلقيح البكتيري، فيسمد المحصول بالكمية المقررة له من السماد النيتروجيني.

٤ . سماد الغاز الحيوي: سماد سائل ينتج من طاقة الغاز الحيوي، ويستخدم مباشرة مع ماء الري؛ أو يجفف ويعبأ في أكياس لاستخدامه عن طريق النثر. ويتكون من المواد الآتية: ٣٠ ٪ رطوبة؛ ٦٠ ٪ مادة عضوية؛ ٦ ,١ ٪ نيتروجين؛ ٥ ,١ ٪ فوسفور؛ ٩ ,٠ ٪ بوتاسيوم؛ إضافة إلى كميات مناسبة لنمو النبات من العناصر الصغرى. والسماد مخصب عضوي متكامل يقلل من استخدام الأسمدة الكيميائية. وقد أدى

التسميد به إلى زيادة إنتاجية المحاصيل كما يأتي: الذرة (٣٥٪)، والقمح (١٢٪)، والفول (٦٪)، والخضراوات (١٧٪).

ثانيًا: تلقيح الأراضي المستصلحة بفطر الميكورايزا للاستفادة من العناصر الغذائية

تتلخص فوائد هذه الطريقة فيما يأتي:

١. زيادة نمو النبات.

٢. تحمل النبات للعطش.

٣. رفع خصوبة الأراضي الجيرية والأراضي الرملية تحت الاستصلاح.

وتحدث هنا عَلاقة تكافلية من نوع تبادل المنفعة بين فطر الميكورايزا وجذور النبات. فينمو الفطر بصورة رئيسية داخل خلايا منطقة القشرة لجذور النبات، ويؤدي إلى تحسين نمو النبات بسبب حصول هذا النبات على الكثير من العناصر الغذائية، كالفوسفات والبوتاسيوم والكبريت والنحاس والزنك، بصورة أفضل بمساعدة هذا الفطر.

ويختلف التلقيح بالميكورايزا عن التلقيح بواسطة الكائنات المثبتة للنيتروجين الجوي في عدم إمكانية تنمية الميكورايزا حتى في بيئة صناعية (تُنمّى بصورة مزارع الأصص Pots)؛ في حين أن التلقيح يكون بواسطة جراثيم الميكورايزا المعزولة من الجذور والتربة. وبصفة عامة، فإنّ التلقيح بقطع الجذور المصابة يمكن أن يعطي نسبة أعلى من الإصابة؛ مقارنة بالتلقيح بجراثيم الميكورايزا. ويستخدم فطر الميكورايزا في التربة الجيرية، التي تكون قوة تثبيت الفوسفور فيها عالية جدًا وكمية الفوسفات القابلة للاستفادة ضعيفة؛ فيعمل هذا الفطر على توفير الفوسفور للنبات. كذلك، فإن تلقيح الأراضي الرملية تحت الاستصلاح بالميكورايزا أمر ضروري جدًا؛ لأنّ مثل هذه التربة فقيرة جدًا بالعناصر الغذائية. وعليه، فإنّ من المفيد استغلال هذا الفطر في توفير العناصر الغذائية للنبات (الرجوي، ١٩٩٤).

ثالثًا: استخدام الهندسة الوراثية في تثبيت النيتروجين

يمكن استخدام الهندسة الوراثية في تثبيت النيتروجين بإحدى طريقتين، هما:

١. نقل الجينات الخاصة بالعلاقة التكافلية من نبات بقولي إلى نبات غير بقولي.

٢. نقل الجينات الخاصة بتثبيت النيتروجين الجوي من البكتيريا المثبتة للنيتروجين إلى النبات.

وتنتج عن الحالة الأولى نباتات غير بقولية قادرة على تكوين علاقة تكافلية مع بكتيريا الرايزوبيوم؛ ومن ثم تكوين عُقد تحتوي بداخلها هذه البكتيريا وتثبيت النيتروجين. أما في الحالة الثانية، فإن النبات الناتج لا يحتاج إلى بكتيريا تثبيت النيتروجين إطلاقًا؛ وإنما يقوم بتثبيت النيتروجين الجوي من تلقاء نفسه.

١. نقل الجينات الخاصة بالعلاقة التكافلية من نبات بقولي إلى نبات غير بقولي

ميكانيكية تكوّن العقد

تعتمد هذه الميكانيكية على آلية وراثية في كل من النبات البقولي وبكتيريا الرايزوبيوم، تمكنهما من تعرُّف الواحد الآخر ومن التعاون التكافلي معًا. يفرز النبات مواد كيميائية متعددة معينة تجذب بواسطتها بكتيريا الرايزوبيوم إليها، وتستجيب لها بكتيريا الرايزوبيوم باختراق جذور النبات وتكوين عقد بكتيرية عليها، ومن ثم تتكاثر بسرعة مثبتة النيتروجين الجوي؛ بحيث تستفيد من الغذاء السكري الذي يكونه النبات، وتكوّن للنبات المركبات النيتروجينية اللازمة له (الرجوي، ١٩٩٤).

وتجرى حاليًّا بحوث غايتها إنتاج سلالات من القمح الذي توجد على جذوره عقد البكتيريا، التي تقوم بتثبيت النيتروجين الجوي وتحويله إلى سماد نيتروجيني. وقد تمكن العلماء من نقل الجينات الخاصة ببكتيريا *Rhizobium tripholii*، التي تتعايش مع نبات البرسيم دون غيره من النباتات، إلى جذور نبات القمح. ونجحت تلك التجارب؛ وأمكن إيجاد حبوب قمح تستطيع جذورها تثبيت النيتروجين الجوي (الرجوي، ١٩٩٤).

وأُنجز نقل جينات تثبيت النيتروجين من نباتات بقولية إلى نباتات أخرى، كالشعير والذرة، لجعلها قادرة على صنع ما تحتاج إليه من أسمدة نيتروجينية عن طريق العقد البكتيرية.

إنّ مثل هذه الخطوة تبدو مجدية لمجابهة خطر الجوع؛ خاصّة لأن إنتاج العالم اليوم من القمح والشعير والذرة لا يتجاوز ١٢٠٠ مليون طن فقط. كذلك، قام الباحثون بإنتاج سلالات من نبات عباد الشمس بصفات وراثية مرغوب فيها، شبيهة بتلك الموجودة في نبات الفاصوليا. فقد عُزل جين مسؤول عن المادة البروتينية الموجودة في حبات الفاصوليا يسمى فاصولين Phaseoline؛ وهو موجود في كل النباتات البقولية. ثم حقن هذا الجين في نبات عباد الشمس بواسطة بكتيريا التدرن التاجي. وأعطى ذلك نبات عبّاد الشمس ميزتين عالميتين، هما:

أ. كونه مصدراً للزيت النباتي المسمى باسمه.

ب. كونه مصدراً غنيًا بالبروتين.

واكتسب نبات عباد الشمس ميزة ثالثة، تتمثل في قدرته على الاستفادة من النيتروجين وتحويله إلى مواد بروتينية نافعة، عن طريق تثبيت النيتروجين الجوي بواسطة نوع من البكتيريا التي تتعايش مع الجذور؛ فيحدث تثبيت النيتروجين تمامًا كما يحدث في البقوليات (الحفار، ١٩٨٥).

وهنالك مشروعات هدفها تحسين عَلاقة تكافل ثلاثية معروفة منذ زمن طويل لدى مزارعي الأرز في ڤيتنام والصين، وذلك لتوفير النيتروجين لنبات الأرز؛ حيث ينمو في حقول الأرز سرخس مائي Water fern اسمه أزولا Azolla، يعيش في أوراقه طحلب أخضر مزرقّ اسمه *Anabaena azallae*. يثبت هذا الطحلب النيتروجين في أوراق السرخس؛ ومن ثم فإنّه عند تحلل السرخس يصبح هذا النيتروجين المثبت متاحًا لنبات الأرز. ويعمل المختصون في الهندسة الوراثية على دفع هذا النظام التكافلي إلى إنتاج مستويات أعلى من النيتروجين المثبت، ليستخدم في تسميد الأرز وزيادة إنتاجه (مستجير، ١٩٩٨).

٢ . نقل الجينات الخاصة بتثبيت النيتروجين الجوي من البكتيريا المثبتة للنيتروجين إلى النبات

تقوم البكتيريا بتثبيت النيتروجين عن طريق جهاز وراثي، يسمى جهاز تثبيت النيتروجين أو جهاز نيف Nif؛ وهو مؤلف من قُرابة ١٧ جينًا. وقد أمكن بالفعل نقل هذا الجهاز على پلازميد إلى البكتيريا *E. coli*؛ فأصبحت هذه البكتيريا تثبت النيتروجين (مستجير، ١٩٩٨).

وهنالك محاولات الهدف منها إكساب النباتات القدرة على تثبيت النيتروجين اللازم من الهواء؛ بدلاً من الاعتماد على البكتيريا المثبتة للنيتروجين (الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى فهمي، ١٩٩٥). وإذا نجح العلماء في نقل هذه الجينات، فإنّ النباتات الناتجة ستتفوق على مثيلاتها الطبيعية، التي تعيش حياة تكافلية مع بكتيريا العقد الجذرية. ويتضح السبب في ذلك عند دراسة نبات فول الصويا، على سبيل المثال؛ حيث توجد على جذوره ٥٠-١٠٠ عقدة بكتيرية تقوم بتثبيت النيتروجين الجوي. وفي كل عقدة بكتيرية، حوالي بليون خلية بكتيرية، هي في حاجة دائمة إلى غذاء وطاقة تأخذهما من النبات؛ ومن ثمّ فإنها تعيق النبات عن إنتاج المزيد من الحبوب. وعليه، فإنّ قيام النبات بتثبيت النيتروجين بنفسه، من دون الحاجة إلى بكتيريا تثبيت النيتروجين، هدف كبير يستحق الدراسة.

إن أهم ما يعيق تطبيق هذه الفكرة هو عدم القدرة على تشغيل هذه الجينات داخل النبات. كذلك، لوحظ أن وجود الأكسجين من أهم ما يعيق عمل جهاز نيف داخل أنسجة النبات، وعملية تشغيل تلك الجينات. فهذا الغاز يُعدّ ضاراً لمجموعة إنزيمات النيتروجينيز؛ وهي الإنزيمات الرئيسية في نظام تثبيت النيتروجين الجوي. فهو الذي يكسر الرابطة المزدوجة القوية لجزيء النيتروجين؛ وهو الذي يختزله إلى نشادر، ويؤدي إلى اتحاد النشادر مع الجزيئات العضوية في الخلية، لتبني منها حموضًا أمينية لبناء البروتين. وعلى الرغم من أن هذا الإنزيم حساس جدًا تجاه الاكسجين، فإنّ

عمليات تثبيت النيتروجين الجوي تجري في بيئة محاطة بالأكسجين؛ ما أثار الدهشة من هذه العملية. لذلك، فقد اتفق على ضرورة وجود نظم معينة تتمكن بها خلايا البكتيريا الهوائية من حماية هذا الإنزيم الموجود بداخلها من تأثير الأكسجين (الرجوي، ١٩٩٤).

رابعاً: مكافحة الآفات الزراعية

تُوظّف التكنولوجيا الحيوية في مكافحة الآفات الزراعية عن طريق:

١. استخدام الفيروسات.

٢. إنتاج نباتات مقاومة للأمراض الفيروسية.

٣. استخدام الفطريات.

٤. استخدام البكتيريا.

٥. استخدام البكتيريا لحماية النبات من أضرار الصقيع.

٦. استخدامها التقنية الحيوية مجسّاً لتشخيص الأمراض النباتية.

٧. إنتاج نباتات مقاومة لمبيدات الأعشاب.

١. الفيروسات

توجد الفيروسات الباكيولية في الطبيعة وتهاجم الحشرات؛ لكنها لا تهاجم النباتات والحيوانات الأخرى. إلا أن مفعولها بطيء جداً؛ بحيث تستمر الحشرات في إتلاف النباتات لأيام وأسابيع، قبل أن تموت بفعل الفيروسات.

وهذا شجع العلماء في معهد الفيروسات والأحياء الدقيقة البيئية في جامعة أُكسفورد على جعل الفيروسات الباكيولية المهندَسة وراثيّاً أكثر فعالية من نظائرها الطبيعية. فقد دُمجت جينات بكتيرية تُشفّر لسموم قاتلة للحشرات؛ مثل: سموم

البكتيريا *Bacillus thuringiensis* المعروفة بـ Delta endotoxins، وسمّ العنكبوت والعقرب. وهكذا، أصبحت الفيروسات ذات قوة قتل مضاعفة (الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى فهمي، ١٩٩٥) و (عبد العال، ١٩٩٧).

٢. إنتاج نباتات مقاومة للأمراض الفيروسية

تهدد الأمراض الفيروسية زراعة الخضراوات في المناطق الحارة وشبه الحارة؛ كالبندورة، والبطيخ، والكوسا، والخيار ،وغيرها. وقد شهدت السنوات الأخيرة تدهور مساحات كبيرة من الخضر، بسبب انتشار الأمراض الفيروسية فيها. وتعتمد الطرق التقليدية على إزالة عوائل الفيروسات، خاصّة تلك التي تختبئ في أثناء الشتاء؛ إضافة إلى رش المبيدات لمكافحة الحشرات الناقلة للفيروسات. وهذا أدى إلى ظهور سلالات من الحشرات مقاومة للمبيدات؛ عدا تلوث البيئة وزيادة التكاليف.

لذلك، أصبح من المفيد إنتاج أصناف مقاومة للفيروسات؛ وذلك بالبحث عن مصادر المقاومة في الأصناف القائمة والقديمة، والأنواع القريبة منها، أو حتى في الأجناس الأخرى التابعة للعائلة نفسها. وفي كثير من الأحيان، يلجأ مربو النبات إلى الأنواع البرية؛ خاصة في حالة العائلة القرعية. وعمومًا، على العكس من النباتات التي تصاب بالفطر أو البكتيريا، فإن المقاومة للفيروس غالبًا ما تكون ثابتة.

كذلك، أمكن إنتاج نباتات قادرة على إنتاج الغطاء البروتيني للفيروس Virus coat protein (VCP)، يهدف إكسابها مناعة ضد الإصابة الفيروسية (عبد العال، ١٩٩٧).

٣. الفطريات

استخدم العلماء فطر *Beauveria* لمقاومة بعض الحشرات. كذلك، استخدموا بعض الفطريات، مثل *Trichoderma*، وهو فطر غير ضار يهاجم بعض الكائنات

الضارة في التربة؛ ومن ثم يقلل الخسائر ولا يلوث البيئة. كما تجدر الإشارة إلى أنه يمكن استعمال الهندسة الوراثية في دمج البروتوبلاست Protoplast الخاص بأكثر من فطر نافع في فطر واحد، ليؤدي أكثر من غرض في عمليات المكافحة الحيوية للآفات (عبد العال، ١٩٩٧).

٤ . البكتيريا

استخدم المزارعون بكتيريا *Bacillus thuringiensis* منذ أواخر السبعينيّات من القرن العشرين مبيدًا حيويًا، لحماية محاصيلهم من حشرات كثيرة، مثل الذباب ودودة ورق القطن وغيرها من الآفات؛ وذلك برش معلق من البكتيريا على تلك المحاصيل. إلا أنّه يجب رش المحاصيل مرات متكررة، وليس مرة واحدة، للحصول على استمرارية في الوقاية.

وقد قامت شركة **Monsanto** بزراعة الجين المسؤول عن سمّيّة هذه البكتيريا ونقله إلى بكتيريا *Pseudomonas fluorescens*. وهذه البكتيريا غير ضارة، وتستعمر التربة وجذور النباتات؛ ويمكن أن تعطي وقاية لأمد طويل ضد آفات التربة (الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى فهمي، ١٩٩٥) و (عبد العال، ١٩٩٧).

كذلك، تقوم الشركات الأمريكية حاليّـًا بإنتاج عدد من المحاصيل الزراعية المقاومة لحشرات مثل: حرشفية الأجنحة *Lepidoptera* (الفراش والعث)، وغمدية الأجنحة Coleoptera (الخنافس)، وثنائية الأجنحة Diptera (الذباب). وهذه المحاصيل منتجة بالهندسة الوراثية، بعد إضافة جين خاص من بكتيريا *Bacillus thuringiensis*؛ وهي قادرة على حماية نفسها بنفسها (عبد العال، ١٩٩٧).

مصدر المقاومة للحشرات

هو جين موجود في بكتيريا *Bacillus thuringiensis*؛ وهو مسؤول عن إنتاج بروتين سام للحشرات يسمى إندوتوكسين دلتا Delta endotoxin. وقد نجح العلماء في نقل ذلك الجين إلى داخل النباتات، باستخدام تقنية الحمض النووي المطعم rDNA (عبد العال، ١٩٩٧).

مكان وجود البكتيريا *Bacillus thuringiensis* (Bt)

توجد البكتيريا Bt في التربة؛ وهي موجبة الغرام Gram +ve. وعُزل ١٢,٠٠٠ سلالة منها حتى عام ١٩٩٦. وهي محفوظة في بنك الجينات بهيئة ATCC الأمريكية. وقد طُوّرت طرق عزل هذه البكتيريا عن الفطريات والبكتيريا الأخرى؛ فتُعامَل العينات بمادة أسيتات الصوديوم Sodium acetate، التي تؤدي إلى إنبات جراثيم الفطر والبكتيريا الأخرى، وهذه يُتخلص منها بالحرارة. أمّا جراثيم Bt، فلا تنبت؛ وهي لذلك لا تتأثر بالحرارة، فتبقى.

لقد سهلت هذه الطريقة تعرُّف بكتيريا Bt في البيئة؛ وهي موجودة بكثرة في البيئة التي نعيش فيها. وبذلك، فهي ليست من الجراثيم النادرة (عبد العال، ١٩٩٧).

سموم البكتيريا Bt وطريقة عملها

تنتج البكتيريا بلورات من البروتين السام في أثناء عملية التجرثم. وقد عُزل ٥٠ نوعاً من البروتين، وعمل تعاقب لها. وسميت باسم Cry؛ وهي اختصار لكلمة بلورة بالإنجليزية Crystal. وأعطيت أرقاماً من ١ إلى ٩ مثل Cry 1-1x. وتحت كل نوع منها، استخدمت حروف كبيرة، مثل A,B,C,D؛ وحروف صغيرة أيضًا، مثل Cry 1A (b). ويعرف الرمز أيضًا بأنه الجين المسؤول عن مقاومة الحشرات. ولكي يؤدي البروتين السام تأثيره في الحشرة، فإنه يلزم إذابته في معدة الحشرة ذات الوسط القاعدي، بحيث تقوم الإنزيمات بعد ذلك بتنشيطه؛ في حين لا يعمل السم في معد باقي الحيوانات، لأنها ذات وسط حَمْضيّ.

وتتلخص طريقة عمل السم في أنّه يؤدي إلى فقدان أيون البوتاسيوم من الخلايا المبطنة لغشاء معدة الحشرة Endothelial cells. فتفقد خواصها الأسموزية، وتمتص كمية كبيرة من الماء؛ فتموت الحشرة (عبد العال، ١٩٩٧). أما أبرز عيوبها فهي:

- الكفاءة البطيئة؛ وذلك إذا أخذ في الحسبان قصر مدة بقاء المبيد في الحقل، وبطء الفعالية ضد الحشرات، واعتياد المزارعين على رؤية الحشرات ميتة بعد ساعات من رش المبيد الكيميائي.
- ارتفاع ثمنها مقارنة بالمبيد الكيميائي.
- تكوّن المناعة.

٥. استخدام البكتيريا لحماية النبات من أضرار الصقيع

ابتكر العلماء طريقة حديثة لمقاومة إتلاف الصقيع للمحاصيل. فبدأوا باستقصاء السبب في أن بعض أنسجة النبات تصاب بالصقيع؛ في حين أن بعضها الآخر لا يتأثر، حتى لو بُرّد لدرجة حرارة أقل كثيراً من درجة التجمد. وقد وجد أن هنالك بكتيريا تعمل مراكزَ تنوية Nucleation centers، تقوم بصنع بلورات ثلج على سطح الأوراق؛ ومن ثمّ فإنها تسبب التلف بالصقيع. وفي غياب هذه البكتيريا، تستطيع النباتات أن تبقى حية؛ بالرغم من التعرض لحرارة منخفضة. وقام العلماء بحذف الجين المسؤول عن تنوية الثلج، ثم رش البكتيريا المحوّرة (التي سميت «بكتيريا ناقصة الثلج»، بسبب عدم قدرتها على صنع بلورات الثلج) على النباتات، لكي تقوم بمنافسة الأنواع الطبيعية وتحل محلها، أو تمنعها من استعمار النبات. وقد نجحت هذه الطريقة في خفض أضرار الصقيع في نبات الفراولة بنسبة ٢٠-٩٠٪ (الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى فهمي، ١٩٩٥).

٦. استخدام التكنولوجيا الحيوية مجسًّا لتشخيص الأمراض النباتية

تُستخدم التكنولوجيا الحيوية في تشخيص الأمراض النباتية؛ وذلك باستعمال حمض نوويّ خاصّ مجسًّا لتعرُّف الأمراض، أو أي صفة وراثية. وتُعدّ هذه الطريقة من أهم الطرق وأدقها لتعرّف، ليس النوع Species فحسب؛ بل حتى سلالة الفطر أو البكتيريا أو الفيروس أو الطفيل المسبب للمرض في النبات. ويقوم التشخيص على تعريف التعاقب الخاص بجينوم المسبب المرضي؛ ثم عمل مجس يكون تعاقب قواعده مكمّلاً له. ويمكن عمل بطارية تضم مجسات عدة، لتسهيل التعرّف إلى مجموعة من الأمراض المنتشرة في منطقة ما. وبذلك، يمكن تعرُّف تلك الأمراض بسرعة فائقة (عبد العال، ١٩٩٧).

٧. إنتاج نباتات مقاومة لمبيدات الأعشاب

استخدم العلماء التقنيات الحيوية الحديثة في تطوير نباتات قادرة على تحمّل مبيدات الأعشاب؛ بوصفها وسيلة حيوية للمزارع في توسيع اختياراته لمكافحة الأعشاب.

ثمّة ادعاءات تقول إنّ انتقال الصفات، كصفة تحمّل مبيدات الأعشاب مثلاً، من نبات مهندَس وراثيّاً إلى الأعشاب يمكن أن يؤدي إلى وجود عشبة من الصعب مكافحتها؛ أو قد تكون أكثر غزواً للحقول. وفي الحقيقة، فإنّ هذه الادعاءات غير صحيحة؛ لأن انتقال صفة تحمّل مبيدات الأعشاب يعني ببساطة أن العشبة أصبحت مقاومة لمبيد أعشاب معين (مبيد واحد فقط). لكن يظل بالإمكان مكافحة العشبة بطرق المكافحة الأخرى، كالحراثة؛ أو حتى باستخدام مبيد عشبي آخر (Anonymous, 1999b).

خامسًا: زراعة الأنسجة [عن (مستجير، ١٩٩٨)]

تقنية زراعة الأنسجة مصطلح عام ينطبق على جميع أنواع الزراعة المخبرية التي

تُجرى تحت ظروف تعقيم كامل. فهي التقنية الجديدة المكملة للهندسة الوراثية في النبات؛ إذ يعتمد النجاح في تطعيم خلايا النبات بالجينات على النجاح في استزراع هذه الخلايا بزراعة الأنسجة. وتضم هذه التقنية أنواعًا متعدّدة، تختلف باختلاف المنفصل النباتي Explant؛ أي الجزء من النبات الذي يُستخدم في الزراعة المعملية. ويسمى نوع الزراعة باسم الجزء المستخدم في الزراعة، على النحو الآتي:

- زراعة الأجنة Embryo culture.
- زراعة البارضة (المِرستيمة) Meristem culture.
- زراعة المتك Anther culture.
- زراعة حبوب اللقاح Pollen culture.
- زراعة الأوراق Leaf culture.
- زراعة الخلايا Cell culture.
- زراعة البراعم الجانبية Auxiliary bud culture.
- زراعة القمة النامية للجذور Root tip culture (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، ١٩٩٨) و(مستجير، ١٩٩٨).

وعليه، فمن الممكن استنبات الأنسجة النباتية في بيئة مغذية تختلف في تركيبها باختلاف نوع النبات، وباختلاف الجزء المستنبت (جزء من ورقة أو ساق أو جذر أو قمة نامية... إلخ). لكن هذه البيئات جميعًا لا بد لها من أن توفر ما تحتاج إليه الأنسجة والخلايا من موادّ غذائية وتنشيطية (الجدول ٤).

الجدول (٤) : محتويات البيئة المستخدمة في زراعة الأنسجة النباتية.

سكروز	مصدر للكربوهيدرات؛ إذ لا تستطيع الأنسجة النباتية المنفصلة عادة توفير الكربوهيدرات لنفسها .
حموض أمينية	تستطيع الأنسجة المنفصلة أن توفر لنفسها الحموض الأمينية؛ غير أن إضافة البعض منها قد يشجع النمو والتضاعف .
ڤيتامينات و مستخلص الخميرة	تضاف أيضًا لتشجيع النمو والتضاعف .
نيتروجين	يضاف بصورة نيترات أو أمونيا .
فوسفور	يضاف بصورة فوسفات الصوديوم أو البوتاسيوم .
بوتاسيوم	يضاف بصورة كلوريد أو نترات البوتاسيوم .
كالسيوم	يضاف بصورة كلوريد أو نترات الكالسيوم .
مغنيسيوم وكبريت	يضاف بصورة كبريتات المغنيسيوم .
عناصر صغرى	مثل النحاس والزنك والمنغنيز والحديد والبورون والمولبد نوم .
بكتين وماء مقطّر	يعطي البكتين البيئة الغذائية التي قوامها الصلب أو نصف الصلب؛ في حين يستخدم الماء المقطر في حالة البيئة السائلة .
منظمات النمو	ـ هرمون الأوكسين : ينشط تكوين الحموض النووية ، والنسيج اللين Callus ، ونمو الخلايا ، وتكوين الجذور . ـ هرمون السيتوكاينين : ينشط انقسام الخلايا وتكوين النموات الخضرية ، ويثبط تكوين الجذور .

ويعتمد التشكيل الخارجي على نسبة كل من هرموني الأوكسين والسيتوكاينين، وتركيزه في البيئة المغذية. فزيادة نسبة الأوكسين إلى السيتوكاينين تنشط تكوين الأجنة والجذور والنسيج اللين؛ في حين تنشط زيادة نسبة السيتوكاينين إلى الأوكسين النموات الخضرية والأفرع.

تُحضّر المزرعة بمعادل حموضة يتراوح بين ٥ و ٢,٥ في البيئات السائلة؛ وبين ٦,٥ و ٨,٥ في البيئات الصلبة. ويضبط الرقم الهيدروجيني pH بالمحلول المُنظِّم Buffer solution. ويؤثر الانخفاض أو الارتفاع عن هذا المدى سلبًا في النمو. كذلك، يتأثر النمو إذا كان الضغط الأسموزي أعلى من ١,٣. ويزداد الضغط الأسموزي بإضافة المانيتول للوسط الاختباري (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، ١٩٩٨).

وعند وضع قطع النبات في البيئة، تنشط الخلايا بالأجزاء المجروحة الملامسة للبيئة؛ فتتكون كتلة من الخلايا البرانشيمية تسمى النسيج اللين، وذلك في غضون ٣-٤ أسابيع. ثم تترك لتكبر حتى يصل قطرها إلى ٢-٣ سم. فتفصل وتجزأ إلى قطع صغيرة، تُزرع في بيئة مغذية أخرى ذات تركيب هرموني ينشط تكوين الجذور والبراعم الخضرية والأفرع والأوراق؛ ثمّ تنقل النباتات إلى الحقل لتنمو إلى نباتات كاملة. وقد يصل ما يُنتَج من كتلة النسيج اللين الواحدة إلى ٥٠٠ نبات.

توفر تقنية زراعة الأنسجة في حد ذاتها لمربي النبات وسيلة فاعلة وسريعة لإنتاج سلالات نباتية تقاوم الأمراض. فقد يلاحظ المربي في حقل أصيب بمرض ما أن بعض النباتات قاومت هذا المرض؛ ومن ثمّ يستطيع أن يستخدم خلايا هذه النباتات لإنتاج نباتات أُخرى مقاومة للمرض، كما يأتي:

١. تستزرع خلايا النبات في بيئة غذائية تحتوي على المادة السامة التي يفرزها الكائن الممرض، وتنتخب منها النباتات التي تستطيع تحمل السم.

٢. تستزرع ثانية النباتات التي تحملت السم في بيئة غذائية، بعد أن يرفع تركيز السم في البيئة، جيلاً خلويّـًا وراء جيل؛ حتى يتمكن المربي من إنتاج سلالة من الخلايا المقاومة.

٣. تُنمّى هذه الخلايا إلى نباتات كاملة مقاومة للمرض.

وتمتاز هذه الطريقة بسرعة إجراء عملية الانتخاب؛ مقارنة بالطرق التقليدية لتربية النبات. فما يمكن إنتاجه خلال عام بواسطة زراعة الأنسجة، لا يمكن إنتاجه بغيرها في أقلّ من ١٠ سنوات. وكل ما يلزم المربي للانتخاب في مزارع الأنسجة هو أن يعرف السم أو يستخلصه. وقد نجحت هذه الطريقة بالفعل في انتخاب سلالات مقاومة لمرض اللفحة في كثير من النباتات، كالبندورة والبطاطا؛ وكذلك انتخاب سلالات من الذرة مقاومة لمبيدات الأعشاب.

وفي كثير من الأحيان، تنتج عن زراعة نسيج نباتي نباتات تتباين كثيراً. وتسمّى هذه الظاهرة التباين الخضري الاستنساخيّ Somaclonal variation؛ على الرغم من أنها، فرضًا، متطابقة وراثيًّا. إلا أنه يبدو أن هذا الفرض ليس صحيحًا تمامًا؛ فمن الممكن للمربي أن ينتخب من بينها، وينتج منها سلالات ثابتة وراثيًا. وقد أمكن بالفعل استغلال هذه التباينات في استنباط سلالة من قصب السكر مقاومة لمرض تبقع العين Eyespot disease، الذي يسببه الفطر *Helminthosporium sacchari*. فأضيف السم الذي يفرزه هذا الفطر إلى مكونات البيئة المغذية، لتُرفع نسبته في كل جيل نسيجي؛ حتى أمكن إنتاج السلالة في غضون عام لا أكثر.

ويمكن استخدام تقنية زراعة الأنسجة وسيلةً لرفع الإنتاج. فإذا عثر على نخلة واحدة أثمرت بلحًا أكثر حلاوة (صفة مرغوب فيها)، فإنه يمكن باستخدام زراعة الأنسجة أن تنسخ منها الملايين، وأن تعرّض الأنسجة لضغوط مرضية أو ملحية أو حرارية لينتخب منها الأفضل؛ في حين أنه لا يمكن بواسطة طرق الزراعة التقليدية (الفسائل)، أو طرق التربية المعروفة، إنتاج سوى عدد محدود من النسل. وقد نجحت هذه الطريقة في إنتاج أشجار نخيل زيت لا تمتاز فقط بإنتاج كمية زيت أعلى تصل الزيادة فيها إلى ٣٠٪ من تلك المزروعة بالبذور؛ وإنّما تمتاز أيضًا بقصر واضح في طول هذه الأشجار؛ ما يقلل من كلفة الحصاد، ويزيد من كمية الثمار وجودتها (Barnum, 1998).

سادسًا: حماية الغابات والحفاظ عليها

تُعدّ الغابات أحد أهم الموارد الطبيعية؛ إذ ينظر إليها بصفتها موردًا حيويًّا متجددًا لإنتاج عجينة الورق، ومصدرًا للأخشاب، ومراعي، ومصدرًا لإنتاج الأصماغ. وقد تعرضت الغابات والأراضي الحرجية في الوطن العربي إلى تدهور شديد في العقود الثلاثة الماضية؛ وذلك نتيجةً لعواملَ متعدّدة. وأهم هذه العوامل: القطع الجائر للغابات للاستغلال التجاري، أو لأغراض توفير الوقود والتدفئة؛ إضافة إلى مسببات أخرى، كالحرائق المدمرة، والتوسع الزراعي، والرعي المطلق، والتوسع المدني؛ ما أدى إلى فقدان ٧٣ مليون دونم من الأراضي الحرجية. ويخشى في النهاية أن يؤدي هذا إلى سيادة ظاهرة التصحر؛ وتدني قدرة الأراضي الزراعية على الإنتاج؛ وتدهور التربة بفعل الانجراف، والرشح، والتصلّب، والتملّح.

وتستخدم التقنيات الحيوية مع غيرها من التقنيات الحديثة الأخرى لصيانة الموارد الطبيعية من أراض ومياه وغابات وتنوع حيوي. وتشمل التقنيات الحيوية في مجال الغابات الآتي (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، ١٩٩٨):

- زراعة الأنسجة.
- حفظ الأصول الوراثية مخبريًّا *In vitro germplasm preservation*.
- الهندسة الوراثية Genetic engineering or recombinant DNA technology.
- نقل الصفات الوراثية أو الجينات Gene transfer.

ويتحقّق ذلك بإحدى الوسائل الآتية:

- الحقن المباشر Microinjection للمادة الوراثية.
- استخدام سلالات متخصصة من البكتيريا.
- الطرق الكهربائية Electroporation.
- تقنيات زراعة الأنسجة.

ومن أهم مجالات استخدام التكنولوجيا الحيوية في الغابات إمكانية استخدامها، كما في العلوم الزراعية الأخرى، في إنتاج شجيرات وأشجار خالية من

الأمراض أو مقاومة لها. أضف إلى ذلك أن احتمال استعمالها في إنتاج الكثير من المركبات الثانوية احتمال وارد. وعلى وجه الخصوص، تستعمل هذه التكنولوجيا في المجالات الآتية (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، ١٩٩٨):

أ. الإكثار الخضري، الذي يحافظ على الصفات الوراثية لبعض الأنواع؛ وبصفة خاصة، في حالة صعوبة إجراء وسائل الإكثار الخضري المعروفة، كما في حالة العُقَل مثلاً لبعض أنواع القنا.

ب. إنتاج آلاف الأشتال من مصدر محدود عن طريق زراعة الأنسجة؛ وذلك في ضوء قلة المادة النباتية المتاحة لأحد الهجن المتميزة، كالنخيل وبعض أنواع الحور مثلاً.

ج. حفظ الأصول الوراثية مخبريًّا. ويفيد ذلك في الحفاظ على التنوع الأحيائي، خاصة بالنسبة للأنواع المهددة بالانقراض؛ إذ إنّ حفظ المادة الوراثية على هيئة بذور لا يفيد في المحافظة على تركيبها الوراثي؛ فضلاً عن أن استخدام الطرق المعملية يفيد في حفظ الأصول أعوامًا طويلة. وتشمل طرق الحفظ المخبري ما يأتي:

١. استخدام درجات الحرارة المنخفضة؛ بحيث تقلّ عن الدرجات اللازمة للنشاط الحيوي والنمو لأنواع النبات المختلفة.

٢. تخزين المادة النباتية تحت ظروف التعقيم الكامل في محاليلَ أسموزية معينة، لتعطيها فرصة للنمو المخبري في أثناء التخزين.

٣. إعاقة النمو بإضافة بعض مثبطات النمو لبيئة حفظ المادة النباتية.

٤. تخزين المادة النباتية في النيتروجين السائل؛ وهكذا يمكن حفظُها سنين طويلة.

سابعًا: التقييم البيئي للمنتجات الزراعية المنتجة بواسطة التكنولوجيا الحيوية (التجربة الكندية)

تكمن مواطن ضَعف التكنولوجيا الحيوية في غموضها وعدم دقتها. فالمهندسون الوراثيون ينقلون الجينات من كائن إلى آخر، والجين قد يقطع بدقة من المادة الوراثية للكائن؛ إلا أنّ مهندس الوراثة ليست لديه أية فكرة في أي موقع سيغرس هذا الجين في

شيفرة الكائن الآخر. وفي حالة غرس الجين الجديد أو إدخاله في الكائن الآخر، قد يحدث خلل أو فوضى في وظيفة جينات أخرى رئيسية في حياة الكائن الذي نُقل إليه هذا الجين. وعليه، فإن الهندسة الوراثية تشبه العمل في جراحة القلب باستخدام مجرفة (شمس الدين، ١٩٩٩).

لذلك، تُجري الحكومة الكندية اختبارات تقييم السلامة للمنتجات الزراعية الجديدة؛ بما فيها تلك المهندسة وراثيّاً. وفي هذه الاختبارات، تضع الحكومة التشريعات من أجل حماية صحة الإنسان والحيوان وسلامة البيئة. وتتحمّل وكالة التفتيش الغذائي الكندية CFIA المسؤولية في إجراء اختبارات التقييم للنباتات ذات الصفات الجديدة، وعلائق الحيوانات الجديدة، والأسمدة الجديدة، والمستحضرات الحيوية البيطرية؛ بما فيها تلك المشتقة من التقنيات الحيوية. أمّا وزارة الصحة الكندية، فهي المسؤولة عن تطبيق اختبارات تقييم سلامة الأغذية الجديدة؛ بما فيها تلك المشتقة من التقنيات الحيوية.

إنّ مكتب التقنيات الحيوية للنبات، التابع لوكالة التفتيش الغذائي الكندية، هو المسؤول عن التشريعات المتعلقة بالنباتات ذات الصفات الجديدة. والجزء المهم من هذه التشريعات هو إجراء تجربة تحت ظروف حقلية، تعطي مطوِّر النباتات ذات الصفات الجديدة الفرصة لتقييم هذه النباتات تحت ظروف عالية التحكم. وهذه التجارب الحقلية مصممة للحد من تأثير النباتات المهندسة وراثيّاً في البيئة، ولمنع إدخال جينات هذه الأغذية إلى أغذية الإنسان والحيوان، حتى تُقيّمَ بشكل كامل.

وحين يرغب المطوّر في تسويق نباته، يجب عليه تزويد مكتب التقنيات الحيوية للنبات بكل المعلومات المطلوبة، لكي يتمكن من إجراء اختبار تقييم سلامة البيئة. وهنا يتعين عليه تزويد المكتب بمعلومات عن الصفة الجديدة، والطريقة المتبعة لإدخال الصفة إلى النبات، والتأثيرات الناتجة من إطلاق النبات في البيئة، ليُقيّمَ المختصّون كل المعلومات التي زُوِّدوا بها. وقد يَطلب هؤلاء من مُطوِّر النبات، إذا دعت الحاجة، تزويدهم بمعلومات إضافية غير تلك التي زودهم بها سابقاً.

وحتى يُوافَقَ على إطلاق أي نبات في البيئة، فإنّ المختصين يجب أنْ يأخذوا في الحسبان إمكانية أنْ يتحوّل النبات المطلق إلى عشبة زراعية، أو يغزو الموائل الطبيعية. أضف إلى ذلك احتمالية أن ينساب الجين من النبات المزروع إلى أقاربه من النباتات البرية التي تقع مع النبات المزروع، في الجنس نفسه أو العائلة نفسها؛ أو إمكانية تحوّل النبات ليصبحَ آفة نباتية. كما يتعين أن تؤخذ في الحسبان التأثيرات المحتملة للنبات أو لمنتجات الجين في الأنواع غير المستهدفة، بما فيها الإنسان؛ وأخيراً التأثيرات المحتملة للنبات أو لمنتجات الجين في التنوع الحيوي.

وتلجأ وزارة الصحة الكندية Health Canada في اختبارات تقييم الأغذية المطورة بواسطة التقنيات الحيوية إلى الاهتمام بالعملية المستخدمة في تطوير مثل هذه الأغذية؛ إضافة إلى مقارنة خصائصها بخصائص مثيلاتها التقليدية، ودراسة قيمتها الغذائية، واحتمالية وجود أي مواد سامة أو مثبطات العناصر الغذائية Anti-nutrients فيها، واحتمالية إثارة الحساسية من أي بروتينات أُدخلت إلى الغذاء. وتضمن اختبارات التقييم هذه أنّ سلامة الأغذية الجديدة مساوية لسلامة مثيلاتها من الأغذية، المتوافرة الآن في الأسواق الكندية (Anonymous, 1999c).

كيفية تنظيم التقنيات الحيوية الزراعية

بما أن عملية دمج الجين لكل من الطرف المانح والنبات العائل لا تُغيِّر من طبيعة النبات العائل، فإنّ ما سينتج عن الهندسة الوراثية يمكن التنبؤ به والتحكم به بدقة. وكما هو الحال في أي صنف جديد من الغذاء، فإنّ المطوِّر يجب أن يختبر بشكل مكثَّف الأمان، والنوعية، وعواملَ أخرى.

إنّ وكالة الأغذية والأدوية FDA هي المسؤولة عن الموافقة عن أمان مكونات هذه الأطعمة الجديدة. كذلك، فإن المنتجين مطالبون بضمان أمان أي شيء يقومون بإدخاله في الطعام ونوعيته. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، فإنّ وزارة الزراعة الأمريكية USDA ووكالة حماية البيئة EPA هما المسؤولتان عن فرض متطلبات الأمان ومعايير

الأداء لتطوير المبيدات والأغذية المعدلة وراثيّاً. وتنظم EPA استخدام الكيميائيات، بما فيها المبيدات، في البيئة. ويَعني ذلك أنها يجب أن تُوافق على أي اختبار حقلي لمنتجات التقنيات الحيوية، بما تحتويه من صفات جديدة (Feldbaum, 1999).

التشريعات الكندية في مجال التكنولوجيا الحيوية

تُعدّ وكالة التفتيش الغذائي الكندية الجهةَ المسؤولةَ عن تنظيم المنتجات الزراعية، بما فيها تلك المنتجة بواسطة التقنيات الحيوية؛ إذ يجب على الباحثين والمصنعين أن يلتزموا بشروط السلامة العامة قبل تجربة المنتج الزراعي المحتمل خارج المختبر، أو بيعه، أو استيراده.

وتقوم الحكومة الفدرالية بتقييم هذه المنتجات، لتقدير المخاطر المحتملة على البيئة وصحة الإنسان والحيوان؛ وذلك قبل تجربتها في الحقل أو تداولها تجاريّاً.

أما المسؤولية القانونية للباحثين والمصنعين للمنتجات الزراعية، بما فيها تلك المنتجة بواسطة التقنيات الحيوية، فتخضع إلى التشريعات والقوانين الفدرالية الآتية: قانون الأغذية والأدوية، وقانون صحة الحيوان، وقانون المنتجات الزراعية، وقانون الأعلاف، وقانون الأسمدة، وقانون البذور، وقانون تفتيش اللحوم، وقانون منتجات مكافحة الآفات، وقانون وقاية النبات. وتقوم وكالة التفتيش الغذائي بتقييم اختبارات السلامة للأسمدة، والبذور، والنباتات، ومنتجات النباتات، والحيوانات، ولقاحات الحيوانات وأعلافها. كذلك، تقوم وزارة الصحة الكندية بالإشراف على اختبارات تقييم السلامة والفعالية للمنتجات الغذائية الجديدة، و الأدوية البيطرية. أما منتجات مكافحة الآفات، فتُراقَب من وكالة تنظيم مكافحة الآفات Pest Management Regulatory Agency (Anonymous, 1999a).

إدخال كائن حي محوّر إلى الطبيعة

قبل إدخال أي كائن إلى البيئة، يجب أن تجرى بحوث للتأكد من أنّ (Anonymous, 1999a):

١ . الكائن آمن للإنسان والحيوان .

٢ . الكائن لن يتحول إلى آفة في المستقبل .

٣ . الكائن لن يظهر صفات جديدة خارج المختبر ، من شأنها أن تؤثر في النباتات أو الكائنات المفيدة الأخرى .

٤ . الصفة الجديدة لن تنتقل من النبات إلى أقاربه Related species، من الجنس نفسه .

• هل يأخذ المُشرِّعون الحكوميون في الحسبان احتمالية انتقال الجين من نباتٍ مهندَس وراثيّـاً إلى أعشاب برية؟

تُجري وكالة التفتيش الغذائي الكندية اختبارات إجبارية لتقييم سلامة البيئة بالنسبة للنباتات ذات الصفات الجديدة ، بما فيها تلك المنتجة بالتقنيات الحيوية ؛ وذلك قبل أن تُزرع هذه النباتات بشكل تجاريّ في كندا . والجزء المهم في كل اختبار تقييم هو تقدير ما إذا كان بإمكان الصفة المدروسة الانتقال من النبات إلى أي نبات آخر من أقاربه . وتقيّم الوكالة التأثيرات البيئية المحتملة الناتجة عن انتقال صفة من نبات لآخر ؛ وذلك بدراسة ماهيّة الصفة وكيف تؤثر ، وقابلية نبات جديد للتزاوج خارج النوع Out-cross لإنتاج نباتات أبناء قابلة للحياة ، وأهمية النبات القريب في النظام البيئي المُدار وغير المُدار . فعملية التقييم هذه تهدف ، إذاً ، إلى تزويد المعنيّين بتقييم كامل ، مبني على نتائج علمية لكل النباتات ذات الصفات الجديدة . وعليه ، فإنّ النباتات التي لا تلبّي متطلبات سلامة البيئة لن يسمح بإطلاقها في كندا (Anonymous, 1999b) .

الملصقات على الأغذية المهندسة وراثيّـاً

تتحمّل وزارة الصحة الكندية ووكالة التفتيش الغذائي الكندية مسؤولية مشتركة من أجل تطبيق السياسة الفدرالية الكندية لوضع ملصقات الأغذية Food labeling؛ اعتماداً على قانون الأغذية والأدوية .

وتتضمّن مسؤولية وزارة الصحة الكندية وضع السياسات الخاصة بملصقات الأغذية

المتعلقة بالصحة وأمور السلامة؛ مثل: المحتوى الغذائي، ومسببات الحساسية، والاحتياجات الغذائية الخاصة. . . إلخ. وهذا ينطبق على الأغذية كافّة، بما فيها تلك المنتجة بالهندسة الوراثية. أمّا وكالة التفتيش الغذائي الكندية، فهي مسؤولة عن تطوير التشريعات؛ ووضع السياسات المرتبطة بملصقات الأغذية، غير المتعلقة بالصحة وأمور السلامة. بمعنى أدق، فإن هذه الوكالة مسؤولة عن: (١) حماية المستهلك من التحريف أو الاحتيال فيما يتعلق بملصقات الأغذية، والتعبئة والإعلان؛ (٢) فرض المتطلبات الأساسية للملصقات الأغذية والإعلان عنها؛ مثل: إعطاء قائمة بمكونات الغذاء، وحقوق المُنتج، ووضع بعض المعلومات والعبارات الإجبارية. وهذا أيضًا ينطبق على الأغذية كافّة، بما فيها تلك المهندسة وراثيّـًا (Anonymous, 1999d).

سياسة الحكومة الكندية في شأن ملصقات الأغذية المهندسة وراثيّـًا

طُوِّرت مجموعة من النشرات الإرشادية، تعكس الإجماع السائد على:

١. الحاجة إلى وجود ملصق إجباري Mandatory labeling، إذا كان هنالك تأثير في الصحة، أو أمور السلامة؛ مثل: وجود مسببات الحساسية، أو حدوث تغير مهم في العناصر الغذائية أو في المكونات.

٢. ضرورة تأكيد أن الملصق مفهوم وصادق وغير مُضلِّل.

٣. السماح بوضع الملصقات الاختيارية، الإيجابية والسلبية، في حالة أن الادعاء الذي تتضمّنه حقيقي وغير مضلل.

إنّ هذه المبادئ متناسقة مع سياسة الحكومة تجاه جميع الأغذية، تحت قانون الأغذية والأدوية. وفي الحقيقة، فإن هنالك صعوبات عملية وزيادة في الكلفة مرتبطة بعملية تعقب الأغذية، لمعرفة ما إذا كانت قد حُضِّرت من محصول مهندس وراثيّـًا، أو تحتوي في مكوناتها على أية مادة مهندسة وراثيّـًا (Anonymous, 1999d).

❖ إنّ هذا يزيد من الاهتمام بتطبيق القوانين؛ إذ كيف تستطيع الحكومة الكندية التأكد من أن الملصق الموضوع صحيح؟

في معظم الحالات، لا توجد طريقة لتمييز المنتجات المهندسة وراثيّـًا عن غيرها لدى مفتّش الحكومة؛ إلا إذا جرى تعقّب الغذاء المهندس وراثيًّا من حقل المزارع.

كذلك، فإنّ الاهتمام يدور حول الكثير من الأغذية المصنّعة، التي قد تدخل في مكوناتها مواد مهندسة وراثيًّا. وهذا بدوْره قد يجعل الملصق عديم الفائدة. لذلك، فإن معظم الأغذية المصنعة سوف تُلزَم قريبًا بوضع عبارة **«قد يحتوي على بعض منتجات الهندسة الوراثية»** على الملصق (Anonymous, 1999d).

الاعتبارات الدينية

ما زالت القيود الغذائية المبنية على المعتقدات الدينية خارج نطاق القوانين الإجبارية الحالية التي تفرضها الحكومة الكندية. ويجري حاليًّا تدارُسها مع المجموعات الدينية.

مقارنة إجراءات مُلصَقات الأغذية في كندا بمثيلاتها في الدول الأخرى

عالميًّا، هنالك كمّ كبير من الدراسات عن مُلصَقات الأغذية المهندسة وراثيًّا. وكندا هي أحد أعضاء لجنة *Codex Alimentarius*؛ وهذه لجنة تُعنى بوضع معايير دولية للأغذية. ومعايير *Codex* اعترفت بها منظمة التجارة العالمية أساسًا للاتفاقيات التجارية؛ ومن ثم أصبحت تلك المعايير ذات أهمية متزايدة، خاصّة للدول الراغبة في التجارة الدولية. ومن خلال لجنة ملصَقات الأغذية التابعة لها، تُطوّر *Codex* نشرات إرشادية عن مُلصقات الأغذية المشتقة من التقنيات الحيوية. وعليه، فإنّ القوانين الكندية يجب أن تكون مُوحَّدة مع قوانين تلك الدول (Anonymous, 1999d).

التشريعات في الاتحاد الأوروبي

يختلف تنظيم التداول لأغذية التقنيات الحيوية في أوروبا عنه في كندا والولايات المتحدة الأمريكية. فيكون ذلك بأن تطلب الشركة صاحبة النبات المحوّر جينيّاً من إحدى دول الاتحاد الأوروبي السماح بزراعة النبات وإنتاج غذاء منه. وتدرس الدولة الطلب؛ وعند تيقنها من أنه يفي بمتطلبات الصحة والسلامة العامة، ترسله بدورها إلى الهيئة الأوروبية European Commission، وإلى دول الاتحاد الأخرى. وتدرس دول الاتحاد الطلب من أجل السماح بتداول النبات؛ بعد التصويت وحصوله على موافقة أغلبية دول الاتحاد.

ولا تزال المعارضة شديدة في أوروبا ضد نباتات التقنيات الحيوية. فبالرغم من الموافقة على زراعة بعض النباتات المحوّرة وراثيّاً، مثل الذرة الصفراء، لا تُزرع في أوروبا في الوقت الحاضر أية بذور من هذا النوع؛ بل إن بعض الدول ـ مثل النمسا ولكسمبورغ ـ تمنع إنتاج الكائنات المحورة وراثيّاً من الأصل (اليماني، ١٩٩٩).

التطبيقات العملية للتكنولوجيا الحيوية في مجال حماية البيئة

مقدمة

تعتمد «القرية العالمية» على مكوّنات البيئة العامة من هواء وماء وأرض. وتتجاوز هذه المكونات الحدود الدولية بين الدول. و يتطلب الاهتمام المتزايد بسلامة البيئة منع إطلاق الملوثات إلى النظام البيئي، ومعالجة الملوثات الموجودة. وتقدم التكنولوجيا الحيوية طريقة طبيعية للتعامل مع المشكلات البيئية؛ تتراوح من تعريف الأخطار الحيوية Biohazards، إلى تقنيات المعالجة الحيوية للفضلات الزراعية والصناعية (Moo-Young *et al.*, 1996).

وقد اتجهت الأنظار إلى استعمال الكائنات الدقيقة تقنيةً حيويةً لإزالة الملوثات من البيئة. وتمتاز هذه الطريقة بانخفاض الكلفة. وعمومًا، هنالك ثلاث خطوات لإزالة الكيميائيات الملوّثة، هي:

١. القطع إلى أشرطة Stripping؛ عن طريق التهوية، أو التحويل إلى معادن، وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون أو الميثان في النظم غير المُهَوَّاة.

٢. إدمصاص المعادن على شكل كتل؛ ثم إزالتها.

٣. التحويل الحيوي Biotransformation بالكائنات الدقيقة.

وتجدر الإشارة إلى أنّه حدث تطور في معاملة المياه الجوفية الملوثة بهيدروكربونات البترول PHC، وكذلك الكحول والكيتون والحموض العضوية. فلا حاجة الآن لقطعها إلى أشرطة أو ادمصاصها على الكربون؛ بل تُستخدم مفاعلات حيوية توضع فوق سطح التربة لمعالجتها. وأكد الباحثون أهمية استخدام الكائنات الدقيقة المستوطنة في التربة المحلية Indigenous في عمليات التحلل الحيوي Biodegradation للأراضي والمياه الملوثة بالبترول؛ إذ إنّ إدخال بكتيريا جديدة محللة للهيدروكربون في التربة لم يساعد في زيادة كفاءة التحلل. لكنْ، يتعين على هذه البكتيريا المُدخَلة إلى التربة أن

تنافس الكائنات الدقيقة المحلية المستوطنة فيها، قبل أن تتمكن من العمل في تحليل الهيدروكربون الناتج عن تلوث التربة والماء بالپترول. لذلك، قد يكون من المفيد تعرُّف الكائنات الدقيقة المحلية الموجودة أصلاً في التربة، والاستفادة منها في تحليل ملوثات البيئة.

لقد استخدمت الهندسة الوراثية في زيادة مدى التحليل الخاص بسلالة بكتيريا *Pseudomonas putida* B13، التي حُصل عليها من نهر الراين، وكانت تحلل أصلاً مادة 3-Chlorobenzoate؛ لكنْ، بالانتخاب الوراثي، تمكّن المختصون من جعلها تحلل مادة 4-Chlorobenzoate.

كما وجد أن بعض الكائنات الموجودة في التربة يمكن أن تحلل بعض المبيدات بإفراز إنزيم يؤدي إلى تحلل هذه المركبات. مثلاً، يمكن للبكتيريا *Flavobacterium spp.* أن تحلل مبيد الپاراثيون الحشري عن طريق إفرازها إنزيم Parathion hydrolase. كذلك، يمكن تحليل ملوثات الصرف الصحي حيويّاً بواسطة بكتيريا *Pseudomonas*. وتعدّ هذه الطريقة من أفضل الطرق التي يمكن استخدامها لحماية البيئة من التلوث؛ إضافة إلى قلة كلفتها (عبد العال، ١٩٩٧).

ويتزايد اعتماد تقنية إزالة الملوثات من الهواء والماء والتربة على العمليات الميكروبية. فكلّما خُصصت هذه العمليات لأداء مهمة معينة، أصبحت ذات أهمية أكبر؛ بحيث أصبحنا نفهم كيف تؤدي وظائفها. وتعتمد كفاءة الميكروبات في تحليل الملوثات على طاقتها القصوى في اكتساب الجينات الضرورية وإعادة ترتيبها؛ ومن ثم تعبيرها (Wyndham *et al.*, 1996).

وبشكل عام، يمكن إجمال التطبيقات العملية للتكنولوجيا الحيوية في مجال البيئة بخمسة موضوعات، هي:

١. عمليات المعالجة الحيوية والتحلل الحيوي.

٢. المعالجة الحيوية للمياه العادمة Wastewater biotreatment.

٣. تدوير النُّفايات Recycling لإنتاج الطاقة.

٤ . المراقبة الحيوية والاستشعار الحيوي Biosensing .

٥ . التشريعات المنظمة للتكنولوجيا الحيوية .

أولاً: المعالجة الحيوية والتحليل الحيوي

١ـ التحليل الميكروبي للكيميائيّات السامة [عن (Parsek *et al.*, 1996)]

أدى التطور في الزراعة والصناعة إلى إنتاج كميات كبيرة من المركبات الكلورينية الصناعية والطبيعية، وإطلاق مثل هذه المركبات إلى البيئة. ومَعَ أن إنتاج مثل هذه المركبات واستخدامها قد تقلص، فما زالت مركبات جديدة تصنع لاستخدامها في مبيدات الأعشاب والحشرات، والمذيبات، ومواد التبريد، ومواد إطفاء الحرائق، ومزيلات الشحوم، وغيرها. وتمتاز هذه المواد بالثبات العالي في البيئة وعدم قابليتها للتحلل؛ بسبب عدم وجود كائنات دقيقة تحتوي على إنزيمات قادرة على تحليل مثل هذه المركبات تحليلاً كاملاً. وعليه، فإنّ بقاء مثل هذه المركبات في البيئة فترة طويلة هو انعكاس لتحللها البطيء بواسطة الكائنات الدقيقة.

على أية حال، فإنّ بعض الميكروبات قد طورت جينات تُشفّر لإنزيمات محللة للكثير من المواد العالية الثبات؛ بحيث يَستخلص التفاعل المركبات الأكثر قابلية لاستخلاصها بواسطة الميكروبات. وعليه، فإن بعض المركبات الكلورينية والنيتروجينية أصبحت قابلة للتحلل حيويّاً.

لكن ـ للأسف ـ فإنه بالاعتماد على الصفات التركيبية والفيزيائية للمركبات، تبدو عملية التحلل استناداً إلى التطور عملية بطيئة؛ خاصّة في المركبات الكلورينية. وبناءً على ذلك، فإنّ موضوع دراسة عملية تطور الجينات المحللة للمركبات المستعصية وفهمها سوف يكون مفيداً لتصميم كيميائيات المستقبل، التي سوف تكون سريعة التحلل الحيوي.

٢ـ بكتيريا تثبت ثاني أكسيد الكربون، وتقوم بعملية التمثيل الغذائي للمركبات الهيدروكربونية الأليفاتية والأروماتية (Imanaki and Morikawa, 1996)

نجح علماء يابانيون في عزل بكتيريا *Pseudomonas sp. HD-1*، خلطية التغذية Mixotrophic، سالبة الغرام، لاهوائية اختيارية. وهذه البكتيريا قادرة على التمثيل الغذائي للمركبات الأليفاتية والأروماتية. كذلك، فإنّ هذه البكتيريا قادرة على تثبيت ثاني أكسيد الكربون، وإنتاج ن-ألكان (n-alkane = C_{10} to C_{20}) بغياب الزيت. ونتيجة لذلك، فإنّ الفوائد الممكن الحصول عليها من هذه البكتيريا على صعيد المعالجة الحيوية هي:

أ. التخلص من مشكلات الزيوت كملوثات؛ وذلك عن طريق التحلل اللاهوائي للهيدروكربونات.

ب. التقليل من مشكلة «البيت الزجاجي» عن طريق تثبيت ثاني أكسيد الكربون.

ج. الإنتاج الميكروبي للزيوت.

٣ـ استخدام بكتيريا *Streptomyces* في المعالجة الحيوية لمبيدات الآفات ومبيدات الحشرات (Pogell, 1996)

تُعدّ بكتيريا *Streptomyces* مجموعة موجبة الغرام ذات تنوع شديد. وتُنتج هذه البكتيريا عدداً من الكيميائيّات المهمة؛ مثل: المضادات الحيوية، ومضادات الأورام، ومثبطات إنزيمات معينة. وقد نجح العلماء في إثبات قدرة هذه البكتيريا على تحليل مركبات زينوبيوتية Xenobiotics متعدّدة. وترجع قدرة هذه البكتيريا على انتخاب مثل هذه السلالة الجديدة إلى قدرتها على القيام بظاهرة غير عادية، تتمثل في عمليات إعادة ترتيب كروموسوم نشط وحذفه وتضخيمه. ومن المحتمل استخدامها في المستقبل من أجل المعالجة الحيوية البيئية لمبيدات الآفات والأعشاب، لما تتحلى به من مميزات؛ منها:

أ. نشاط أيضيّ ثانويّ عال ضد مدى واسع من الزينوبيوتات.

ب. طبيعة نمو الغزل الفطري العدوانية، التي تجعله يخترق التربة بسرعة عالية؛ ومن ثم فهو يقلل من الحاجة إلى خلط الفطر بالتربة.

ج. قدرتها على النمو بشكل أسرع في البيئات شبه الاختيارية، وبناء كتلة حيوية بسرعة، وتحليل مبيدات الآفات والأعشاب بسرعة عالية.

د. قابلية التلاعب بجيناتها، من أجل أقلمتها مع بيئات جديدة أو ملوثات جديدة.

٤- پلازميدات مقاومة للمعادن الثقيلة، واستخدامها في المعالجة الحيوية (Endo *et al.*, 1996)

يُظهر نظام الپلازميدات البكتيري المناعة للكثير من المعادن السامة ذات الاهتمام البيئي. فلسنوات عدّة، عُرّفت جينات بكتيرية قادرة على مقاومة معادن ثقيلة سامة؛ مثل:

Ag^{+}, AsO_4^{3-}, AsO_2,Cd^{2+}, Co^{2+},CrO_4^{2-} ,Cu^{2+},Hg^{2+},Ni^{2+}, Sb^{3+}, TeO_3^{2-} , Zn^{2+}.

وكما هي المقاومة ضد المضادات الحيوية، فإنّ أنشطة الإنسان قد خلقت ظروف انتخاب سريعة ضد المعادن الثقيلة. فوُجد أن البكتيريا المضادة للزئبق لها القدرة على إحداث تسامي الزئبق بصورة Hg^0 أحادي الذرة. وتتشابه أنظمة المقاومة ضد الزئبق تمامًا في كل البكتيريا التي دُرست؛ في حين أن أنظمة المقاومة ضد الزرنيخ والكادميوم كانت متشابهة بعض الشيء، وليس تمامًا.

و تعتمد آليّة مقاومة المعادن الثقيلة على:

أ. ضخ متدفق للعناصر السامة من الخلية البكتيرية إلى الخارج.

ب. التراكم الحيوي بصورة مركب غير متاح فسيولوجيًا.

ج. تفاعل أكسدة- اختزال؛ حيث إنّ المركب عالي السمية يتحول إلى مركب أقل سمية. ويقدم هذا النوع من التفاعلات معظم الأنظمة الواعدة في عملية المعالجة الحيوية للعناصر السامة الثقيلة. أما عملية الضخ المتدفق، فإنّ آليّتها تبدو واعدة أكثر من غيرها من ناحية الاستخدام العملي. كما أن هنالك احتمالية بناء غشاء خلوي بنفاذية عالية ضد المعادن الثقيلة.

وأما عملية التراكم الحيوي للكادميوم والنحاس والزنك، فيمكن أيضًا استخدامها بشكل عمليّ. فإحدى سلالات *Citrobacter* لها قدرة على الركم الحيوي للكادميوم

وترسيبه على سطح الخلية؛ وذلك بسبب احتوائها على إنزيم هيدروتيز الفوسفات العضوي. وحين تتغذى الخلية على عوائل فوسفات عضوية، فإنّ الفوسفات غير العضوي يتحرر ويُطلق على سطح الخلية. وعليه، فإن أي كاتيون كادميوم سوف يترسب ليتراكم حيويّـًا على سطح الخلية.

٥ـ المعالجة الحيوية للتربة الملوثة بالزيت في الكويت (El-Nawawy *et al.*,1996)

خلال أزمة الخليج في أوائل التسعينيّات من القرن العشرين، تعرضت الكويت لمشكلات بيئية ناجمة عن حرائق البترول. فكونت الزيوت حوالي ٣٠٠ بركة، غطت ما يقارب ٤٩ كيلومتراً مربعًا. وتراوحت كثافة التلويث البترولي في بحيرات الزيوت من تلويث بترولي عال للتربة (> ١٠٪ بترول) إلى تلويث بترولي متوسط وخفيف للتربة (< ١٠٪ بترول)، وبالنسبة للنوع الأخير من التلوث، فإنّ عملية زراعة الأراضي قد تبدو الأكثر فاعلية في تنظيف التربة المتلوثة بالبترول.

فمنذ عام ١٩٨٦، أجرى معهد الكويت للبحوث العلمية دراسات عدّة على زراعة الأراضي الموحلة بالبترول في الكويت؛ مثل: التحليل الحيوي للوحلً بشكل أمثل في التربة، ونمو النباتات وامتصاص مقومات هذه الأوحال، وإدارة زراعة الأراضي البترولية. وقد تحقّقت الاستفادة من الخبرة التي اكتسبت من هذه الدراسات في أمور؛ مثل: خصائص التربة، وخصائص الوحل، والرطوبة النسبية، والتباين في درجة الحرارة، وتعديلها لتسهم في المعالجة الحيوية للتلوث البترولي في تربة الكويت.

فعند تجربة زراعة أراض بسيطة، بإضافة أسمدة غير عضوية NPK إلى التربة المتلوثة ومن ثم قلب التربة وريها كل أسبوع، ظهرت معدلات متزايدة من التحلل؛ لكن هذه المعدلات وصلت إلى أعلى مستوى لها بعد ١٢ شهراً من المعالجة الحيوية. وفي التربة الخفيفة التلوث (٣٪ بترول في التربة) والعالية التلوث (٨٪ بترول في التربة)، فإنّ نسبة التحلل الحيوي لم تزد على ٨٢ ٪ و ٥٢ ٪، على التوالي. وهذا يؤكد مدى الحاجة إلى اكتشاف طرق التحفيز الممكنة لعملية زراعة الأراضي. هذا التحفيز يجب أن يتناول

الخصائص الرئيسية الدقيقة للتلوث. مثلاً، كانت التربة الملوثة بالزيوت قد تعرضت لظروف جوية مناخية لمدة تزيد على سنة من بدء تجربة المعالجة الحيوية. وهذا يعني أن التربة أصبحت فوق مشبعة بالبترول؛ ما أدّى إلى تدمير الأنشطة الميكروبية الهوائية.

٦ـ المعاملة الحيوية للمخلفات السائلة والصُلبة والغازية (Auria *et al.*, 1996)

يعمل علماء فرنسيون ومكسيكيون منذ ١٥ سنة على دراسة أنظمة تخمير السوائل والموادّ الصلبة والغازات؛ في محاولة منهم لفهم الاحتمالات والمعوقات للمعالجة البيئية. ومن النتائج التي ذُكرت ما يأتي:

أ. وضع نموذج شامل عن نمط نمو الغزل الفطري والأنشطة الأيضية؛ وذلك بناءً على دلائل حُصل عليها بتحليل الصورة ضمن المستوى المجهريّ، ودراسات حسابات قياس الغاز، وحسابات قياس الحرارة.

ب. وضع استراتيجية جديدة لأنظمة تخمير الغازات والسوائل والمواد الصلبة. وقد طُوّرت هذه الاستراتيجية بناء على المحافظة على الحرارة ومكونات الماء لمعجون التخمير.

ج. دراسة معوقات أنشطة الكتلة الحيوية.

د. إنجاز عمل أساسي، يتمثل في الميكانيكية الأحيائية الدقيقة والكيميائية الحيوية لتكوُّن الجسيمات والأفلام في الهاضمات اللاهوائية.

هـ. وضع استراتيجيات جديدة لإنتاج سلالات جرثومية مطفّرة متأقلمة؛ خصوصاً مع أنظمة تخمير المواد الصلبة وانتخابها.

ومن الأمثلة على التطبيقات المحتملة لهذه الدراسات، نذكر ما يأتي:

أ. استخدام فطر *Aspergillus niger* مربى على لب القهوة، لخفض مستوى الكافيين، وإنتاج إنزيمات البكتينيز، وتوليد مخلفات صُلبة ذات أنشطة حيوية أولية في المعدة الأولى للمجترات.

ب. استخدام أجهزة حيوية لغسل الغازات، لإزالة أية مركبات كبريت كريهة منبعثة من مصانع السيلوفان إلى الهواء.

ج. إزالة المركبات الكيميائية في عملية معالجة المياه الصناعية العادمة، باستخدام مفاعل لاهوائي.

د. استخدام عملية الكومبوست، لإنتاج مركبات محفزة نباتيًا Phytostimulants.

ثانيًا: المعالجة الحيوية للمياه العادمة

١ـ المعالجة الحيوية للمياه العادمة باستخدام مفاعلات أفلام ثابتة مغمورة ومُهوّاة (Hamoda, 1996)

في السنوات الأخيرة، تنامى الطلب على تطوير أنظمة وطرق لمعالجة المياه العادمة. وتظهر الطرق الحيوية المهوّاة باعتبارها من الطرق الناجحة في معالجة المياه العادمة؛ وذلك لإزالة المواد العضوية القابلة للتحلل حيويًا والعناصر الغذائية، كالنيتروجين والفوسفور. ويمكن تقسيم الطرق الحيوية، بناءً على التطور الجرثومي، إلى طرق نمو معلقة ومربوطة (فيلم ثابت أو فيلم حيوي). وتتميز طرق الفيلم الثابت على الطرق المعلقة ببعض المميزات؛ مثل: الإدارة الثابتة، وحبس الكتلة الحيوية الصلبة لفترة طويلة، والحماية الأفضل ضد المواد السامّة. وهذه المميزات تنتج عنها كفاءة معالجة أفضل من غيرها. إضافة إلى ما سبق، فإنّ بعض مفاعلات نظم الأفلام الثابتة تكون ذات حجم أقل من تلك المعلقة.

تَستخدم عمليات الأفلام الثابتة وَسطَ دعْم خاملاً لنمو الكتلة الحيوية المربوطة. وهذا الوسط قد يكون ثابتًا أو دوّارًا؛ مغمورًا بشكل كلي أو جزئي في مياه المجاري. وفكرة الفيلم الثابت قديمة بعض الشيء؛ فقد كانت تستخدم في مرشّحات التنقيط لمياه المجاري منذ ١٩٠٠. وخلال العَقْدين الماضيين، طُوّر هذا الجهاز (الفيلم الثابت)، بحيث ظهرت بضعة أنظمة تجارية منه؛ مثل:

١ـ المقلّص الحيويّ الدّوّار Biological rotating contractor (BRC).

٢ـ المرشح الحيويّ المهوّى Aerated biofilter.

٣ـ المفاعل ذو الحوض الهوائي الموسّع Aerobic expanded bed (AEB) reactor.

وهنالك عاملان ساعدا في اختزال حجم المفاعل، مقارنة بمثيله في النظام المعلّق النمو؛ هما:

أ. وسط الدعم العالي.

ب. نسبة السطح إلى الحجم لهذا المفاعل.

وهناك بعض أوجُه التطوير في نظم الكتلة الحيوية العالية، توظف كلاً من الأفلام الثابتة والمعلقة بحرّية لتطوير أنظمة لمعالجة المجاري. وقد أصبحت أنظمة الكتلة الحيوية العالية ذات شعبية في معالجة مياه المجاري. ويتمثل أحد جوانب التطوير الحالية لأنظمة الكتلة الحيوية العالية في استخدام بيئة خاملة لدعم نمو الكتلة الحيوية الثابتة الفيلم. وأحد هذه الأنظمة هو مفاعل أفلام ثابتة مغمورة مهوّاة Aerated submerged fixed-film (ASFF). وهو نظام متعدد المراحل، ينمو فيه الفيلم الحيوي على طبق سيراميك ثابت ومغمور بشكل كلي في مياه المجاري، ويبقى هناك تحت تهوية مستمرة.

٢. المعالجة الجرثومية للفضلات الفينولية (Korzhenevich *et al.*, 1996)

يُعدّ الكثير من المركبات الأروماتية (الفينولات ومشتقاتها) من المواد الخام والمنتجات الأساسية للصناعات الكيميائية. والنتيجة أن هذه المركبات أصبحت من مكونات المياه العادمة.

وقد أخذ التلوث البيئي بالفينول يتزايد باستمرار في منطقة الڤولغا بروسيا، نتيجة لتراكم المخلفات الخطرة غير المعالجة من مصانع الكيميائيات. إضافة إلى ذلك، فإنّ معالجة الرواسب الزيتية بالتحليل الحراري Pyrolysis نتج عنها تكوّن مخلفات فينوليّة لوّثت البيئة في منطقة ساراتوف. وفي الوقت نفسه، فإنّ عمليات التنظيف الذاتي البيئية

كانت تُثبّط بإضافة تراكيزَ كبيرة ولمدة طويلة من الملوثات إلى الماء والتربة.

ولسوء الحظ، فإن كل الطرق الحيوية لمعالجة المياه العادمة كانت غير كافية من ناحية كميّة. وكانت أيضًا ذات كفاءة منخفضة، بسبب سمية مكونات المخلفات ومقاومتها؛ وكذلك، بسبب انخفاض التحليل من طرف الكائنات الدقيقة النشطة.

لقد أصبح من المعلوم الآن أن استخدام كائنات دقيقة معينة، قادرة على تحليل عدد كبير من المخلفات، يعدّ من أكثر الطرق فعالية في معالجة المياه العادمة. من ناحية أخرى، فإنّه أصبح من المعلوم أيضًا أنّ الخلايا البكتيرية في حالتها غير المتحركة تستطيع تنقية المياه العادمة بالكفاءة نفسها مثل الخلايا الحُرّة. وعليه، فإنّ استخدام التقنيات الحيوية في معالجة المياه العادمة في القولغا سوف يمكّن من خفض المركبات الأروماتية في البيئة.

ثالثًا: تدوير النُّفايات لإنتاج الطاقة (عبد الجواد،١٩٩٧)

استطاعت بعض الدول ـ مثل الهند والصين ـ تطوير الغاز الحيوي وإنتاجه بطريقة اقتصادية فاقت مثيلاتها في الدول الأخرى؛ حتى أصبح إنتاج الغاز الحيوي في القرى الزراعية مألوفًا لكل فلاح. والغاز الحيوي ينتج طبيعيًّا من عملية تحلل لاهوائي طبيعي تحدث في حقول الأرز، حيث يتكوّن الميثان؛ أو تحدث نتيجة قيام البكتيريا الموجودة في أمعاء الحيوانات المجترة تحت ظروف لاهوائية بإنتاج هذا الغاز. كما يمكن أن تحدث تلك العملية عند تخزين القمامة لاهوائيًّا؛ وتحت هذه الظروف، يمكن للكائنات أن تحوّل حوالي ٩٠ ٪من الطاقة إلى غاز الميثان.

وتمر عملية إنتاج الميثان بثلاث مراحل، هي:

* **المرحلة الأولى**: تقوم مجموعة كبيرة من الكائنات الدقيقة بتحليل مكونات النفاية إنزيميًّا؛ إذْ يتحلّل بعض المكونات، ويصبح صالحًا لتغذية مجموعة أخرى من الكائنات الدقيقة.

❖ **المرحلة الثانية:** نتيجة لعمليات الانحلال الإنزيمي والتحلل المائي، يتحول بعض المكونات إلى حموض عضوية؛ أهمها حمض الخليك، الذي يشجّع نمو البكتيريا المنتجة لغاز الميثان.

❖ **المرحلة الثالثة:** تقوم البكتيريا بتحويل حمض الخليك مباشرة إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون؛ أو تختزل ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان، مستخدمة هيدروجينًا مُنتَجًا بواسطة بعض أنواع البكتيريا الأخرى. وتكون النتيجة تحوّل ما نسبته ١٠٪ من الطاقة إلى خلايا حيّة. وعادة يتحول ما نسبته فقط ٣٠ - ٥٠٪ من الطاقة الموجودة في النفايات الحيوانية (روث المواشي) أو القمامة إلى ميثان. وينتج عادة ٥, ٤لتر ميثان لكل لتر من المواد المهضومة. وفي بعض النفايات، يمكن للبكتيريا أن تحول ٧٠٪ من الطاقة الموجودة في النفاية إلى ميثان. والطريف أن النترات والأمونيا والفوسفات وبقايا أجسام البكتيريا تبقى في الناتج النهائي بعد إنتاج الغاز الحيوي. ويُستخدم هذا الناتج سمادًا سائلاً عالي القيمة الغذائية. ونجحت التجارب في إعادة استخدامه مرة أخرى علفًا للحيوانات، بعد إضافة بعض نفايات المزارع العضوية إليه.

وقد لوحظ أن هذه البيئة لا يقترب منها الذباب المنزلي. وعلى ذلك، فان إنتاج الغاز الحيوي من النفايات الزراعية يحقق أربعة أغراض، هي:

أ. حماية البيئة من الذباب؛ إذْ لا يعيش الذباب المنزلي في هذه البيئات. وهذا يعني إعفاء المواطن العربي من الإصابة بـ ٤٢ مرضًا تنقلها إليه الذبابة، وتكلف الدول علاجًا يفوق المليار دولار.

ب. تدوير النفاية، واستغلال كل ما فيها من طاقة، وتحويلها إلى طاقة نظيفة.

ج. الحصول على سماد سائل ذي قيمة غذائية عالية.

د. القضاء على الأمراض والحشرات وبذور الحشائش التي توجد في بقايا المحاصيل، وتنتقل من مكان إلى آخر عند تسميد الأرض بالأسمدة العضوية العادية.

وقد نجحت التقنيات الحديثة في استعمال الغاز الحيوي في الإنارة، والطبخ، وإدارة المعدات الميكانيكية، وإدارة مضخات رفع المياه من الأرض.

ويتكون الغاز الحيويّ من خليط من غاز الميثان (٥٠ ـ ٧٠٪)، وثاني أكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين، وهيدروجين، ونيتروجين. وهو أخف من الهواء؛ وله طاقة حرارية تصل إلى ٥٥١٣ كيلو كالوري للمتر المكعب.

وحتى تحدثَ عملية التخمر اللاهوائي بطريقة جيدة، يجب أن تتراوح نسبة الكربون إلى النيتروجين في البيئة المراد تخمرها وتحويلها إلى غاز حيوي بين (٢٠ ـ ٣٠): ١. كما يجب أن تدرس العَلاقة مع الزمن بين دخول المادة الخام والمواد المنتجة، لضمان حسن سير العملية بانتظام؛ إذْ تنهض عوامل كثيرة، مثل الحرارة ودرجة الحموضة ومحتوى النفاية، بدورٍ مهمّ في عملية التخمر اللاهوائي. والبكتيريا المحللة للنفايات حسّاسة لدرجة الحموضة، وأفضل درجة حموضة لها هي من ٧,٠ إلى ٧,٢؛ في حين يقف إنتاج الميثان عند درجة حموضة ٦,٦. وتُعدّ درجة الحموضة ٦,٢ سامة للبكتيريا المنتجة للميثان.

وهنالك تصاميم عدّة لوحدات إنتاج الغاز الحيوي، التي يجب أن يتوافر في مكانها ما يأتي:

أ. أن لا تزيد المسافة بين الوحدة وموقع استهلاك الغاز على ٧٠ متراً.

ب. أن تكون الوحدة قريبة من مصدر النفايات، ليسهل تزويد الوحدة بها. ويفضل أن تكون قريبة من الوحدات السكنية، لصرف مياه المجاري إليها.

ج. أن يكون المكان بعيداً عن مصدر مياه الشرب وفي الجهة الجنوبية من الكتلة السكنية.

وتتكون كل وحدة من وحدات إنتاج الغاز الحيوي من أربعة أجزاء رئيسية، هي:

أ. حجرة التخمير أو الهضم.

ب. حجرة تجميع الغاز.

ج. حوض استقبال المخلفات.

د. حوض تجميع المخلفات المهضومة.

وهنالك الكثير من الأشكال لوحدات إنتاج الغاز الحيوي في العالم؛ نذكر منها :

١ـ الوحدة الهندية

هي حجرة دائرية بعمق ٣ أمتار أو أكثر؛ قاعدتها عادةً من الإسمنت لمنع وصول الماء الأرضي إلى المخمّر . ويوجد حائط نصفي في وسط المخمّر يقسم الحجرة إلى نصفين؛ بحيث يتصل أحد النصفين بحوض الدخول، والنصف الآخر بحوض الخروج . وتتصل الحجرة بحوض إدخال المخلفات عن طريق ماسورة قطرها ٦ بوصات (يفضّل أن تكون من البلاستيك) . ويجب أن لا يرتفع البناء عن سطح الأرض . وعادةً تُكسى جميع مواد البناء والأرضية بمادة عازلة تمنع تسرب الغازات والمياه . وتضاف المادة المراد تخميرها من خلال فتحة الدخول؛ بحيث تصل إلى المخمر عبر الماسورة . ويجب أن يكون مستوى قاعدة حوض الدخول أعلى من سطح المخمّر .

٢ـ الوحدة الصينية

هي حفرة دائرية بعمق ٣ أمتار فأكثر؛ قاعدتها المقعّرة من الإسمنت لمنع رشح الماء . وتُغلق الفتحة العليا للمخمّر بغطاء خرساني قطره ٥٠ سم، ويزود المخمّر بحوض لدخول المخلفات وآخر لخروج السماد . وتُغطّى الوحدة كاملة من الداخل بمادة عازلة تمنع خروج الغازات أو تسرب المياه . ويزوّد القبو من أعلى بماسورة للحصول على الغاز . ويجب أن تكون الوحدة تحت سطح الأرض بحوالي متر واحد؛ ويردم فوق الوحدة طين مبلّل دائمًا بالماء . وتزود الوحدة ببادئة إذا شُغّلت أوّل مرة .

٣ـ الوحدة المصرية

صُمّمت هذه الوحدة لتتواءم مع الظروف المصرية . وهي مماثلة للوحدة الهندية، فيما عدا تزويدها بحوض سعته ٥ أمتار مكعبة، لتخمير المخلفات النباتية لمدة تتراوح من شهر إلى شهرين، لتُستخلصَ منها الحموض العضوية وتلقى في المخمر؛ في حين تُستخدم النفايات النباتية سمادًا بصورة مباشرة .

وتمتاز الأسمدة السائلة أوالجافة الناتجة عن وحدات الغاز الحيوي، علاوةً على

الميزات السابقة، بإمكانية توزيعها سائلة على الأراضي وارتفاع محتواها من النيتروجين.

توجد كميات كبيرة من المخلفات الزراعية في الوطن العربي، تتراكم في البيئة بسبب عدم التخلص منها؛ مؤدية إلى تلوثها. وتعدّ هذه المخلفات من الموارد المتجددة التي يمكن أن تكون لها قيمة مضافة، إذا جرت معالجتها بالطرق الصحيحة، وتحويلها إلى منتجات يمكن استخدامها من دون تلويث البيئة. والمخلفات الزراعية، كالقش والحطب ومخلفات النباتات وبقايا عَصْر الزيوت، يتكون أغلبها من السيليولوز والهيميسيليولوز واللغنين؛ وهذه المركبات عضوية صعبة التحلل. لذلك، يُلجأ إلى استعمال الكائنات الدقيقة للاستفادة منها في الحصول على أعلاف للحيوانات، وإنتاج سكريات للصناعات التخميرية، وأيضًا إنتاج بروتين أحادي الخلية وإنزيمات وفيتامينات وحموض عضوية وخميرة الخبز، وإنتاج مصادر جديدة للطاقة مثل الغاز الحيوي (الميثان) (عبد العال، ١٩٩٧). كذلك، يمكن الإفادة من المخلفات الحيوانية الناتجة عن مزارع الدواجن والمجازر والثروة السمكية (El-Nawawy and El-Kattan, 1995).

رابعًا: المراقبة الحيوية Biomonitoring والاستشعار الحيوي Biosensing

١- المراقبة الحيوية للمبيدات الحشرية وغيرها من الملوثات ذات المستويات المنخفضة في المياه العذبة باستخدام الفوتوتروفات Phototrophs (Whitton *et al.*,1996)

تتزايد طرق المراقبة الحيوية للتلوث المائي. وبالرغم من اختبار عدد كبير من الطرق، فإنّ بعضها فقط نجح واعتُمد معيارًا للاستخدام في عدد كبير من الدول. فعلى سبيل المثال، تستخدم الطحالب بشكل واسع لمراقبة نوعية مياه الأمطار في أوروبا؛ إلا أن كل دولة، بل حتى كل منطقة في الدولة الواحدة، تستخدم طرقًا مختلفة.

ويُعدّ الخلط بين المراقبة الحيوية والكيميائية أفضل استراتيجية لتقييم مدى التلوث

البيئي ؛ إلاّ أنّ هنالك بعض الحالات التي تتفوق فيها المراقبة الحيوية . والأمثلة تشمل أنهاراً كبيرة كالراين ؛ حيث المئات من المواد الكيميائية المرتبطة بأنشطة الإنسان . ونجد أماكن تتلوث بشكل متقطع ؛ وأخرى فيها ملوثات شديدة السمية ، لكن بتراكيز قليلة .

ويبين الجدول (٥) الطرق التي تستخدم بها الفوتوتروفات لتقييم نوعية المياه . وبالرغم من اشتراك الطرق الفسيولوجية والكيميائية الحيوية مع دراسات التسمم البيئي الروتينية اليومية ، فإنّ الفوتوتروفات ما زالت تستخدم بشكل أقل من الحيوانات . وما زالت الطرق المعيارية المستخدمة للفوتوتروفات بحاجة إلى تطوير كبير .

وتشمل طرق تقييم الملوثات ، عند مستويات التلوث المنخفضة ، عملية تحليل الأنسجة ، وإجراء تجارب مبنية على التحمل الجيني والاستجابة الكيميائية الحيوية والفسيولوجية .

إن وجود أثر لامتلاك جماعة أو مجتمع لتحمّل جينيّ ، لملوثات أكثر من أخرى موجودة في مكان معروف بخلوّه من الملوثات ، لهُوَ دليلٌ قاطع على وجود تأثيرات لهذه الملوثات . ويُعدّ التحمّل الجيني مفيداً في مناطق يعتقد أنها مصادر متقطعة ، وليست دائمة ، للتلوّث [الجدول (٦)] .

الجدول (٥): الطرق الحيوية لمراقبة نوعية المياه باستخدام الفوتوتروفات.

١. الطرق المبنية على الأنواع الفردية **Individual species** :
أ ـ تراكم الملوثات في الأنسجة .
ب ـ وجود نوع معين أو غيابه .
ج ـ التحمل الجيني للملوثات .
د ـ الطرق الفيزيائية الحيوية والكيميائية الحيوية ، بما فيها الاستشعار الحيوي .
هـ ـ الطرق الشكلية الخارجية والخلوية .
٢. الطرق المبنية على المجتمعات:
أ ـ الكتلة الحيوية Biomass .
ب ـ مؤشرات التنوع .
ج ـ الطرق الخاصة بدراسة نباتات منطقة ما Flora ، والمبنية على التكامل في المعلومات للأنواع المكونة للمنطقة ؛ أو مقارنتها بمنطقة نظيفة .
٣ . التجارب الحيوية، وطرق التسمم البيئي **Bioassays & ecotoxicological methods** المبنية على النوع أو المجتمع.

عن (Whitton and Kelly, 1995).

الجدول (٦) : التحمّل الجيني في بعض الطحالب للملوّثات.

الكائن	الملوّث
Klebsormidiu (=Hormidium)	Zn (0 . 2 mg / L)
طحالب پلانكتونية Planktonic Algae	الكثير من المعادن
طحالب التيارات Stream Algae	مبيد أترازين Atrazine
Vaucheria dichotoma	تيربيوترين Terbutryn

وقد وجد أن هنالك مواد عدة، كالعناصر الثقيلة والمبيدات، تتراكم داخل أنسجة النبات بتراكيز أعلى منها في البيئة المحيطة . لذلك، يُلجأ إلى استخدام الطحالب، والبريوفايت Bryophytes، والنباتات الراقية، لمراقبة الملوّثات الموجودة بتراكيز منخفضة في الماء؛ خصوصًا المبيدات .

٢ـ تحديد المركبات الأروماتية باستخدام الاستشعار الحيوي الجرثومي

(Ignatov and Kozel, 1996) **Microbial Biosensing**

تستخدم المركبات الأروماتية بكثرة في مصانع إنتاج الأدوية، والمبيدات، والدهانات، وغيرها . وتخرج المياه العادمة من هذه المصانع إلى الأنهار؛ ما يجعل تطوير طريقة سريعة لتحديد المركبات الأروماتية أمرًا في غاية الأهمية . ويعطي العلماء الاستشعار الحيوي أهمية كبيرة لاستخدامه في حماية البيئة . وقد طُوّر عدد من المستشعرات الحيوية لعدد من المركبات الأروماتية، كما هو موضح في الجدول (٧) .

الجدول (٧) : المستشعرات الحيوية لعدد من المركبات الأروماتية.

Substrate	Biocatalyst	Sensor
Phenol	Polyphenol-oxidase	Oxygen Electrode
Phenol Sodium Salicilate	*Pseudomonas cepacia* ATCC 29351	Oxygen Electrode
O-Chlorophenol	Microbial cells	Oxygen Electrode
Biphenyl Dibenzofuran Dibenzothiophene	Microbial cells	Oxygen Electrode
Benzene	*Pseudomonas putida* ML 2 (NCIB 12190)	Oxygen Electrode
Phenol	Tyrosinase	Oxygen Electrode
Phenol	*Pseudomonas putida* GFS-8	Oxygen Electrode

خاتمة

بعد هذا الاستعراض، هل من الممكن التكهن بأن العلم سينجح في إيجاد الحلول المناسبة للمشكلات الزراعية والبيئية ؟ الجواب : نعم؛ فالطريق مفتوحة نحو إجراء بحوث جديدة في مجال الهندسة الوراثية والتكنولوجيا الحيوية ذات أبعاد اقتصادية على الأمد البعيد. ولهذا، فقد آن الأوان للاستعانة بالمختصين في هذا المجال بشكل أمثل. ولا بدّ من تضافر جهود العلماء والمؤسسات الحكومية والشركات الخاصة من أجل تحقيق الهدف المنشود.

المراجع

١ . أحمد عبد الجواد، ١٩٩٧ . **تكنولوجيا تدوير النفايات** . الدار العربية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر . ص ٣٠٦ ـ ٣١٠ .

٢ . أحمد مستجير، ١٩٩٨ . **البيوتكنولوجيا في الطب والزراعة** . المكتبة الأكاديمية، القاهرة، مصر . عدد الصفحات ١٢٦ .

٣ . إدوارد يوكسين، ترجمة أحمد مستجير، ١٩٨٥ . **صناعة الحياة: من يتحكم في البيوتكنولوجيا؟** دار غريب للطباعة، القاهرة، مصر . عدد الصفحات ٢٥٧ .

٤ . أمين شمس الدين، ١٩٩٩ . الهندسة الوراثية: هندسة الجينات (المورثات) إلى أين؟! مجلة **المهندس الزراعي**، ٦٦ : ٢٩ ــ ٣٣، عمّان، الأردن .

٥ . الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى إبراهيم فهمي، ١٩٩٥ . **مستقبلنا الوراثي (علم التكنولوجيا الوراثية وأخلاقياته)** . المكتبة الأكاديمية، القاهرة، مصر . عدد الصفحات ٣٠٩ .

٦ . المنظمة العربية للتنمية الزراعية، ١٩٩٨ . **دراسة التقانات الحديثة لتنمية الثروة الغابية في الوطن العربي، والمشروعات المقترحة للتطوير**، الخرطوم، السودان . ص ١٢٣ــ١٢٩ .

٧ . جون سميث، ترجمة عبد العزيز أبو زنادة، ١٩٨٧ . **أساسيات التقنية الأحيائية** . عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود، الرياض، السعودية . عدد الصفحات ٢١٦ .

٨ . حسن العكيدي، ١٩٨٧ . **التقنية الحيوية المايكروبية والتمور** . بغداد، العراق . عدد الصفحات ٣١٨ .

٩ . رعد البصام، ١٩٩٦ . **التقنية الحياتية** . دار الكندي للنشر والتوزيع، إربد، الأردن . عدد الصفحات ١٤١ .

١٠ . زيدان السيد عبد العال، ١٩٩٧ . **التكنولوجيا الحيوية وآفاق القرن الحادي العشرين** . شركة منشأة المعارف بالإسكندرية، مصر . عدد الصفحات ٣١١ .

١١ . عبد الكريم السلال، وعبد الرزاق تقي الدين، ١٩٩٨ . **الأحياء الدقيقة** . جامعة القدس المفتوحة، عمّان، الأردن . عدد الصفحات ٤٣٦ .

١٢ . علي الرجوي، ١٩٩٤ . **تكنولوجيا الزراعة الحيوية والمقاومة البيولوجية: المنافع والتطبيقات، وبدائل المبيدات الكيماوية** . مكتبة ابن سينا للنشر والتوزيع والتصدير، القاهرة، مصر . عدد الصفحات ١٩٢ .

١٣ . فتحي محمد عبد التواب، ١٩٩٣ . **البيولوجيا الجزيئية (مدخل للهندسة الوراثية)** . المكتبة الأكاديمية، القاهرة، مصر . عدد الصفحات ٤٢٧ .

١٤ . محمد اليماني، ١٩٩٩ . الأغذية المحورة وراثيّا: الإنتاج والسلامة. مجلة **المهندس الزراعي**، ٦٦ : ٤٨ ـ ٥٣، عمّان، الأردن.

١٥ . يوسف العمري، ومي صادق، ومحمود قصراوي، وعائدة وصفي عبد الهادي، ١٩٩٦ . **الوراثة وعلم الحياة الجزيئي**. منشورات جامعة القدس المفتوحة، عمّان، الأردن. عدد الصفحات ٣٤٠ .

16. Anonymous.1992. Statement of Policy: Foods Derived from New Plant Varieties, *US Federal Register*, 22984-23005.

17. Anonymous.1999a. *Biotechnology in Agriculture: Food for Thought*. Office of Biotechnology, Canadian Food Inspection Agency, Ottawa, Canada, 3 pp.

18. Anonymous.*1999b.Weeds and Plants Produced through Biotechnology*. Office of Biotechnology, Canadian Food Inspection Agency, Ottawa, Canada, 1 p.

19. Anonymous.1999c. *Environmental Assessments for Agricultural Products of Biotechnology*. Office of Biotechnology, Canadian Food Inspection Agency, Ottawa, Canada, 1 p.

20. Anonymous.1999d. *Labeling of Genetically Engineered Foods in Canada*. Office of Biotechnology, Canadian Food Inspection Agency, Ottawa, Canada, 2 pp.

21. Auria, R., P. Christen, E. Favela, M. Gutierrez, J. P. Guyot, O. Monroy, S. Revah, S. Roussos, G. Saucedo-Castaneda and G.Viniegra-Gonzalez.1996.Biotreatment of Liquid, Solid or Gas Residues: An Integrated Approach. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Edited by Moo-Young, M., W.Anderson and A.Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.221-236.

22. Barnum, S.R. 1998. *Biotechnology: An Introduction*. Wadsworth Publishing Company, Belmont, USA, p.92.

23. El-Nawawy, A.S., R. Al-Daher, A.Yateem and N.Al-Awadhi.1996. Bioremediation of Oil Contaminated Soil in Kuwait: II- Enhanced Landfarming for Bioremediation of Oil Contaminated Soil. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 249-258.

24. El-Nawawy, A. S. and M. H. El-Kattan. 1994. *The Beneficial Use of Agricultural Waste Disposal in Near East* (Arabic).FAO Regional Office, Cairo, Egypt, 105 pp.

25. Endo, G., J. Ji and S. Silver .1996. Heavy Metal Resistance Plasmids and Use in Bioremediation. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.47-62.

26. Feldbaum, C. B.1999.*Agricultural Technology: The Future of the World's Food Supply*. The Biotechnology Industry Organization (BIO), 17 pp.

27. Hamoda, M. F. 1996. Biotreatment of Wastewater Using Aerated Submerged Fixed-Film Reactors. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A.Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.431-449.

28. Ignatov, O. V.and A. B. Kozel. 1996.The Determination of Aromatic Compounds by Microbial Biosensor. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.654-674.

29. Imanaki, T. and M. Morikawa. 1996. Isolation of a New Mixotrophic Bacterium Which Can Fix CO_2 and Assimilate Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons Anaerobically. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.16-27.

30. Korzhenevich, V. I., E. V. Volchenko, I. N. Singircev, A. Yu Feodorov and G. M. Shoob. 1996. Microbial Treatment of Phenolic Wastes. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 498-503.

31. Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty. 1996. *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 768 pp.

32. Parsek, M. R., S. M. McFall and A. M. Chakrabarty. 1996. Microbial Degradation of Toxic Chemicals: Evolutionary Insights. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.1-15.

33. Pogell, B. M.1996. Bioremediation of Pesticides and Herbicides by Streptomyces. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 38-46.

34. Raven, P. H. and G. B. Johnson. 1993. *Biology.* Mosby-Year Book, Inc., USA, 1135 pp.

35. The Biotechnology Industry Organization (BIO).1998. *Biotechnology State of the Industry Report*, Bio World Publishing Group, USA, 12 pp.

36. Toet, D.A. 1992. Effect of rDNA Technology on the Safety Requirements for Enzyme Production and Preparations. *International Symposium on the Biosafety Results of Genetically Modified Plants and Microorganisms.* Goslar, Germany, pp. 201-203.

37. Whitton, B. A., S.T. Darlington and P. J. Saw. 1996. Biological Monitoring of Insecticides and Other Low Level Contaminants in Freshwaters Using Phototrophs. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.701-711.

38. Whitton, B. A. and M. G. Kelly. 1995. Use of Algae and Other Plants for Monitoring Rivers .*Aust. J. Ecol.*, 20: 45-56.

39. Wyndham, R. C., M. C. Peel and C. H. Nakatsu.1996. Plasmid Transfer and Catabolic Gene Distribution in the Area of a Groundwater Bioremediation System. In: *Environmental Biotechnology : Principles and Applications.* Edited by Moo-Young, M., W. Anderson and A. Chakrabarty, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp.78-86.

40. David, D. N.1996. Utilization of Biotechnology in US Plant Breeding. *Biotechnology and Development Monitor*, No. 27, pp. 15-17.

41. Klotz-Ingram, C., S. Jans, J. Fernandez-Cornejo and W. McBride. 1999. Farm-Level Production Effects Related to the Adoption of Genetically Modified Cotton for Pest Management. *AgBioForum*, 2(2):1-11.

42. Ruttan, V.W. 1999. Biotechnology and Agriculture: A Skeptical Perspective. *AgBioForum*, 2 (1) : 54-60.



الفصل الثّالث عشر

التكنولوجيا الحيويّة في مجال الصّناعة والأنظمة والتشريعات

أ. د. غاندي أنفوقة

أ. د. أمجد خليل

التكنولوجيا الحيويّة في مجال الصناعة والأنظمة و التشريعات

الأستاذ الدّكتور غاندي أنفوقة
الأستاذ الدّكتور أمجد خليل

الجُزء الأول
التكنولوجيا الحيويّة في مجال الصناعة

مقدّمة

تقوم الكائنات الحية الدقيقة بدور مهم في التطبيقات العملية للتكنولوجيا الحيوية في المجالات الصناعية المختلفة. وهذه كائنات لامتناهية في الصغر، لا تُرى بالعين المجردة، وتضم مجموعات عدة من الكائنات الصغيرة جداً من ڤيروسات، وبكتيريا، وفطريات وحيدة الخلية، وأوليات، وغيرها. ودور هذه الكائنات الحية في الصناعة ليس جديداً؛ إذ استعملها الإنسان منذ آلاف السنين لإنتاج اللبن والجبن والخبز، وصناعة الكحول، ودباغة الجلود. كما كان لها دور مهم في زيادة خصوبة التربة (٦، ٢٣، ٥٠). ومع مرور الزمن، زاد اهتمام الإنسان بهذه الكائنات الدقيقة، ليس فقط بسبب المنافع التي كان يحصل عليها

من خلالها، لكن أيضًا لأنّ بعضها كان السبب الرئيسي لكثير من الأمراض الخطيرة التي تصيب الإنسان.

إن التقدم السريع والكبير في مجالات العلوم المختلفة ساعد العلماء على اكتشاف كثير من أسرار الكائنات الحية الدقيقة؛ الأمر الذي أدى إلى استغلالها على الوجه الأمثل في كثير من التطبيقات العملية في مجالات الزراعة، والصناعة، والطب، والبيئة.

يُعدّ اكتشاف تكنولوجيا الحَمْض النووي المعاد تركيبه Recombinant DNA من أهم إنجازات العلوم الحياتية الجزيئية في القرن العشرين. فبهذه التكنولوجيا، تمكن العلماء من تعرّف الكثير من الجينات، ونقلها من كائن حي مثل البكتيريا إلى كائن حي آخر مثل النبات أو الحيوان. كما ساعدت هذه التكنولوجيا في تعرّف الجينات المسؤولة عن كثير من العمليات الحيوية التي تحدث داخل الكائنات الحية الدقيقة؛ مثل إنتاج الإنزيمات التي تدخل في الكثير من الصناعات. ومن ثَمّ استطاع العلماء عزل هذه الجينات، وإدخالها إلى كائنات حية أخرى لتنتج بكميات أكبر، باستعمال مفاعلات حيوية Bioreactors، وبواسطة عملية التخمير Fermentation (٢٣).

ونظرا للفوائد الجمّة التي يمكن الحصول عليها من خلال التطبيق العملي للتكنولوجيا الحيوية في مختلف المجالات، أخذت دول العالم تتسابق على تطبيق هذه التكنولوجيا الحديثة لحل كثير من المشكلات البيئية والصحية؛ خاصة مشكلة نقص الغذاء، التي أصبحت تهدد الكثير من الدول الفقيرة في مختلف أنحاء المعمورة. والآمال معقودة الآن على التكنولوجيا الحديثة في مجال إنتاج النباتات المعدلة جينيًا Transgenic plants، لإنتاج نباتات ذات قيمة غذائية عالية، لحل مشكلة الجوع في العالم. ومن أجل الوصول إلى هذا الهدف، أصبح كثير من الشركات العالمية في تنافس مستمر لإنتاج نباتات معدلة جينيا، تحتوي على كميات كبيرة من البروتينات والفيتامينات الضرورية للإنسان. من ذلك، مثلاً: التوصل إلى إنتاج نباتات أرز تحتوي على نسبة عالية من البروتين، بعد نقل الجينات المسؤولة عن إنتاج هذه البروتينات من نباتات البازلاء إلى الأرز (٩).

يستعمل مصطلح التكنولوجيا الحيوية الصناعية Industrial biotechnology للدلالة على مجموعة التكنولوجيات الحديثة، التي تستعمل مع الطرق والتكنولوجيات التقليدية في كثير من مجالات العلوم الحياتية Life sciences والصناعات الحيوية Bio-Industries . ومن الأمثلة على هذه المجالات :

- إنتاج الطاقة .
- المعادن .
- إنتاج الإنزيمات .
- تحسين اللقاحات .
- صناعة البروتينات، والهرمونات، والمضادات الحيوية .

١. التخمرات الصناعية

تُعدّ عملية التخمر الأساس في تطبيق التكنولوجيا الحيوية الحديثة في المجالات الصناعية المختلفة . ونظراً لأهمية هذه العملية، يجدر إعطاء نبذة عن التخمرات الصناعية .

تدخل عملية التخمر في الكثير من الصناعات الغذائية والدوائية، التي لا يمكن إنتاجها إلا بالتخمرات الصناعية وباستعمال الأحياء الدقيقة . وتجري هذه العملية بإعادة هندسة الفعاليات الحيوية (٦) . ويعتمد الإنتاج البيوتكنولوجي للكيميائيات الصناعية أساسًا على التخمر (٢) . وتحدث التخمرات نتيجة إفراز بعض الأحياء الدقيقة موادَّ كيميائية وإنزيمية تعمل على أكسدة المركبات العضوية واختزالها، مثل السكريات، التي تكون المصدر الكربوني الضروري لنمو الأحياء الدقيقة . ويُرافق هذه العملية إنتاج مركبات أيضية جديدة نافعة (٦) . وتنتج عملية التخمر المركبات العضوية الأليفاتية، كالإيثانول مثلاً؛ وهو كحول ناتج عن تخمر الحبوب، ويستخدم في كثير من الصناعات . ويمكن تلخيص فوائد عملية التخمر بالنقاط الآتية :

أ . زيادة إنتاج مواد أيضية أولية وأساسية؛ مثل : الغليسرول، وحمض الخل،

وحمض اللبن، والأسيتون، والكحول البيوتيلي، وديول البيوتان، والحموض العضوية والأمينية، والڤيتامينات، ومتعدّدات التسكر.

ب. إنتاج مواد أيضية ثانوية مفيدة؛ مثل: المضادات الحيوية، والجبريلين، والقلويدات، والأكتينومايسين Actinomycin.

ج. إنتاج إنزيمات على هيئة منتجات صناعية.

د. استخدام تكنولوجيا التخمر لخلايا مشتقة من النباتات والحيوانات الراقية، تحت ظروف مزارع الخلايا أو الأنسجة Cell or tissue cultures، لإنتاج العطور والمنكهات، وجزيئات البروتين؛ مثل: الإنترفيرونات Interferons، والأجسام المضادة الأُحادية التناسخ Monoclonal antibodies (٣).

ويبين الجدول (١) أهم المجالات الصناعية التي تعتمد بشكل رئيسي على منتجات عملية التخمر (٦).

تتشابه عمليات التخمر التجارية في أساسها؛ إذ تعتمد جميعها على تنمية أعداد كبيرة من الخلايا ذات الصفات المنتظمة تحت ظروف محكمة ومحددة. ومع القليل من التحوير، فإنه يمكن استخدام جهاز التخمر نفسه لإنتاج أكثر من مادة واحدة. وأبسط أشكال عمليات التخمر هو خلط الكائنات الدقيقة في بيئات غذائية، والسماح لهذه المكونات بالتفاعل (٣).

أنواع التخمرات

تقسم التخمرات إلى أنواع عدة، حسب الناتج النهائي لعملية التخمر:

أ. التخمر الكحولي: وهو الأكثر شيوعا. والناتج النهائي منه هو الكحول Ethanol.

ب. التخمر اللّبنيّ: وتحلّل فيه أنواع من البكتيريا، مثل *Streptococcus* أو *Lactobacillus*، اللاكتوز إلى حَمْض اللبن Lactic acid، الذي يستخدم في إنتاج اللبن.

ج. التخمر البيوتركيّ: ينتج عن هذا النوع من التخمر حمض الپيروڤك Pyruvic

الجدول (١): منتجات عملية التخمر تبعاً للقطاعات المختلفة.

	القطاع	الناتج
١.	صناعة المواد الكيميائية	
	أ. مواد عضوية	- كحول أثيلي: أسيتون: بيوتانول. - حموض عضوية (حمض الستريك، والإيتاكونيك Itaconic acid) . - الإنزيمات، والبوليمرات.
	ب. مواد غير عضوية	- الثروة المعدنية. - التراكم الأحيائي Bioaccumulation.
	ج. الصيدلانيات	- المضادات الحيوية. - مواد التشخيص (الإنزيمات؛ الأجسام المضادة). - مثبطات الإنزيمات. - الستيرويدات. - اللقاحات.
	د. الطاقة	- الإيثانول (الغازوحول Gasohol) - الميثان (الغاز الحيوي Biogas). - الكتلة الحيوية Biomass.
	هـ. الطعام	- منتجات الألبان (الأجبان؛ اللبن الرائب). - منتجات اللحوم، والأسماك . - المشروبات (الكحولية، والشاي والقهوة). - خميرة الخبز.
	و. المواد المضافة إلى الأغذية	- مضادات التأكسد Antioxidants. - الألوان، والنكهات، والمثبتات Stabilizers. - الأطعمة المبتكرة (صلصة فول الصويا). - الحموض الأمينية، والفيتامينات. - المنتجات النشوية. - شراب الغلوكوز، والفركتوز العالي. - التحويرات الوظيفية للبروتين، والبكتين.
٢.	الزراعة	- أغذية الحيوان. - حفظ العلف، وعمليات الكمبوست. - مبيدات الآفات ذات المنشأ الميكروبي. - الرايزوبيوم، والمحقنات البكتيرية الأخرى الخاصة بتثبيت النتروجين. - محقونات الميكورايزا. - مزارع الخلايا والأنسجة (تكاثر خضري؛ إنتاج أجنة؛ تحسين وراثي).

acid المستعمل في كثير من الصناعات. ويتحقق ذلك باستعمال نوع من البكتيريا اللاهوائية، مثل Clostridium، التي تحلّل سكر الغلوكوز.

د. التخمر البروبيونكيّ: المسبب لهذا النوع من التخمر هو البكتيريا اللاهوائية Clostridium، التي تنتج حمض البروبيونك Propionic acid (٦).

إن الاختلاف في نواتج عمليات التخمر مرتبط بوجود أو غياب بعض الإنزيمات التي تفرزها الأحياء الدقيقة، المستعملة في عمليات التخمر. مثلاً، تفتقر بكتيريا *Lactobacillus* لإنزيم Pyruvate decarboxylase؛ ومن ثَمّ يتحول البروفيت Pyruvate إلى حمض اللبن. أما في خميرة البيرة، فإن الناتج النهائي لعملية التخمر هو الإيثانول (٦).

وتحدث جميع عمليات التخمر داخل مفاعلات حيوية. والوظيفة الأساسية للمفاعل الحيوي تخفيض كلفة إنتاج المنتج؛ بحيث يتحقق التشغيل تحت ظروف معقمة Aseptic. وتجري التفاعلات في المفاعلات الحيوية تحت رقم هيدروجيني متعادل تقريبًا، وتحت درجة حرارة ٢٠- ٦٥°س. وفي معظم المفاعلات الحيوية، تحدث العمليات في وسط سائل (٣).

٢. الإنزيمات بديل للأحياء الدقيقة

لكون منتجات عمليات التخمر نواتج نهائية لنشاط الإنزيمات الموجودة في الأحياء الدقيقة، تستغل هذه الإنزيمات استغلالاً تجاريًا؛ بحيث يستخدم الإنزيم المعزول ليحل محل الكائن الحي المنتج له. ذلك أن استخدام الكائن الحي كاملاً يتسبب عنه بعض العوائق؛ مثل:

- قد تختلف الظروف المثلى التي يحتاج إليها الكائن الحي للنمو عن الظروف اللازمة لإنتاج الإنزيمات.
- يتحول قسم كبير من وسط التفاعل إلى كتلة حيوية.
- قد تحدث تفاعلات جانبية هادمة أو مدمرة.

- قد يكون معدل التحويل إلى المنتج المرغوب فيه بطيئًا.

- قد يصعب فصل المنتج المرغوب فيه بعد انتهاء العملية.

وعليه، فإن استخدام الإنزيمات المعزولة والمنقاة يمكن أن يقلل من هذه المشكلات (٣).

أ. مصادر الإنزيمات

يمكن الحصول على الإنزيمات المستخدمة في عمليات التخمر الصناعية من المصادر الطبيعية الآتية:

- النباتات: مثل إنزيم دايستيز وپاپين والبروميلين.
- الحيوانات: مثل إنزيم الرينين.
- الكائنات الحية الدقيقة: مثل إنزيم ألفا - أميليز α–Amylase.

إن الإنزيمات المشتقة من النباتات والحيوانات تكون بكميات كبيرة جداً. لكن، لهذا الإنتاج محاذير؛ لأننا نحتاج فيه إلى توفير كمية كبيرة من النباتات والحيوانات، التي قد لا تعطي المردود المطلوب من الإنزيمات.

أما إمكانية الحصول على الإنزيمات من الأحياء الدقيقة، فهي غير محدودة. وإضافة إلى تميزها بأنها متنوعة إلى أبعد حد، فإنه يمكن السيطرة عليها وعلى عوامل إنتاجها. وبناءً على ذلك، فإن إنتاج الإنزيمات من الأحياء الدقيقة أصبح على نطاق صناعي كبير.

إن معظم الإنزيمات من الأحياء الدقيقة المستخدمة في الصناعة تشتق من عدد لا يزيد على ٤ خمائر، و١١ فطر، و٨ أنواع من البكتيريا (٣). والجدول (٢) يبين بعض أنواع الإنزيمات المنتجة من الأحياء الدقيقة.

ب. إنتاج الإنزيمات

إن الخطوة الأساسية في إنتاج الإنزيمات على نطاق تجاري هو اختيار الكائنات الحية

الجدول (٢): بعض الإنزيمات المنتجة من الأحياء الدقيقة و المستخدمة في مجال الصناعة.

	الإنزيم	المصدر الميكروبي	الاستخدام
١	الفا ـ أميليز α-Amylase	Bacillus subtilis Bacillus licheniformis Aspergillus oryzae	صناعة النشا
٢	غلوكوأميليز Glucoamylase	Aspergillus oryzae Aspergillus niger Rhizopus oryzae	صناعة النشا؛ صناعة المشروبات الروحية (البيرة)
٣	پولولانيز Pullulanase	Klebsiella aerogenes	صناعة النشا
٤	غلوكوز أيزوميريز Glucose isomerase	Bacillus coagulans Streptomyces albus	إنتاج محلول الفركتوز
٥	بيتا ـ غلوكانيز β-Glucanase	Bacillus subtilis Aspergillus niger Penicillium emersonii	صناعة المشروبات الروحية (البيرة)
٦	إنفريتز Invertase	Saccharomyces cerevisiae	صناعة الحلويات
٧	لاكتيز Lactase	Saccharomyces lactis Aspergillus niger Aspergillus oryzae Rhizopus oryzae	صناعة الألبان
٨	پكتينيز Pectinase	Aspergillus niger Aspergillus oryzae Rhizopus oryzae	تنقية عصير الفاكهة والنبيذ
٩	پروتييز المتعادل Neutral Protease	Bacillus subtilis Aspergillus oryzae	إعطاء النكهة للحوم والأجبان؛ صناعة الخبز
١٠	پروتييز القاعدي Alkaline protease	Bacillus licheniformis	صناعة مساحيق الغسيل
١١	رينين Rennin	Mucor micbei spp	صناعة الأجبان
١٢	لايبيز Lipase	Aspergillus oryzae Aspergillus niger Rhizopus oryzae	صناعة مشتقات الحليب؛ صناعة مساحيق الغسيل

الدقيقة المناسبة. ومن الشروط التي يجب أخذها في الحسبان عند اختيار هذه الكائنات بغرض إنتاج الإنزيمات ما يأتي:

ـ أن لا تكون الكائنات الحية الدقيقة مسببة للأمراض.

ـ أن لا تكون منتجة للسموم.

ـ أن لا تكون حساسة جداً للتغير في بعض العوامل الحيوية.

ـ أن تكون على درجة من الثبات؛ من حيث الإنتاج الإنزيمي والقدرة على إنتاج الأنواع.

ـ أن تكون لها القدرة على النمو بشكل جيد في الأوساط (البيئات) الرخيصة (٣).

بعد اختيار الكائنات الحية الدقيقة، تُوفّر الظروف المناسبة لها التي تمكنها من إنتاج أعلى تراكيز من الإنزيمات. وتمتاز الإنزيمات التي تُفرَز خارج الخلية عن الإنزيمات الداخلية بأن إنتاجها لا يتطلب طرقًا تكنولوجية لتفتيت الخلية؛ إضافة إلى أنها توجد بشكل نقي نسبيًا في بيئة النمو؛ في حين أنّ الإنزيمات الداخلية تحتاج إلى طرق تكنولوجية أكثر تعقيداً للفصل والتنقية. لذلك، تشكل الإنزيمات المنتجة خارج الخلية الجزء الأعظم من الإنتاج الصناعي الميكروبي للإنزيمات. غير أن للإنزيمات المنتجة داخل الخلية دوراً متزايد الأهمية، كإنزيمات تشخيصية في الطب والزراعة (٣).

ويمكن خفض تكاليف إنتاج الإنزيمات، بتطعيم الكائن الحي الدقيق بالجينات الخاصة بكل إنزيم. وبذلك، تكون الحاجة إلى وعاء تخمر واحد، تقوم بلايين الخلايا داخله بالتفاعلات جميعها، حسب توالي حدوثها. وبهذه الطريقة، يمكن توفير المال والوقت؛ أو تطعيم الخلايا بنسخ عدّة من الجين نفسه، للحصول على كميات مضاعفة من الإنزيم. وقد تمكن العلماء اليابانيون فعلاً من زيادة إنتاج إنزيم ألفا ـ أميليز من بكتيريا *Bacillus subtilis* مئتي ضعف. كذلك، يمكن استخدام البكتيريا المحبة للحرارة Thermophilic لخفض الكلفة؛ فإنزيمات هذه البكتيريا تستطيع تحمل درجات الحرارة العالية من دون أن تتكسر. كما أنّ التفاعلات التي تنشطها إنزيمات هذه البكتيريا تحدث بشكل أسرع. وبذلك، فإذا أمكن نقل جينات إنزيم ألفا ـ أميليز إلى هذه

البكتيريا، فربما أمكن الإسراع في تحويل النشا إلى غلوكوز. ومن الممكن أيضا أن تربط الإنزيمات بمواد خاملة، مثل كريات صغيرة من البلاستيك أو السيراميك؛ بحيث يمكن للإنزيمات في شكلها الساكن هذا أن تعمل منشطات للتفاعلات، من دون أن تتكسر في عمليـــة الإنتــاج (٢، ٨).

ج . الأمان الحيوي للإنزيمات المنتجة بهندسة الجينات

تتوقع رابطة منتجي إنزيمات الغذاء في هولندا أن ٨٠٪ من الإنزيمات المنتجة عالميًا ستكون في المستقبل بواسطة البكتيريا المحسنة جينيا. وسيشمل ذلك إنزيمات متداولة حاليًا في الأسواق؛ مثل: إنزيم الكايموزين Chymosin، وأميليز Amylase، وبروتييز Protease، ولاييز؛ وجميعها ناتجة عن كائنات دقيقة.

ونظرًا لاستخدام تكنولوجيا الحَمْض النووي المعاد تركيبه rDNA في إنتاج الإنزيمات العالية التخصص وبسعر اقتصادي، فإن صناعة الإنزيمات باتت تحتل المرتبة الثانية بعد صناعة الدواء، التي استفادت من التكنولوجيا نفسها. وقد أدى استخدام هذه التكنولوجيا إلى تنظيم إنتاج الإنزيمات؛ الأمر الذي زاد من نقائها، وقلل من إجراء اختبارات الأمان الحيوي. كما أدى استخدام هذه التكنولوجيا إلى تقليل الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة، والاعتماد على الكائنات الدقيقة التقليدية المستعملة؛ وزاد من مقدرة هذه الكائنات على الإنتاج ومن نقاء منتجاتها .

وتتطلب مكونات الأمان الحيوي أن يكون الكائن الدقيق آمنًا، وأن يكون الناقل مسجّلاً، وأن يكون الحمض النووي موصوفًا بدقة. وقد أخذ في الحسبان درجة البقاء، وسمية البيئة، ومدى انتقال بقايا العلامة الوراثية للحمض النووي المعاد تركيبه (وعادة تكون مضادًا حيويًا)، ومقدرتها على التجرثم، وإحداثها للمرض أو السمّيّة. وقد ثبت أنها لا تشكل خطورة على الإنسان أو الحيوان، ولا تلوث البيئة؛ إذ لا تحتوي المخلفات الناتجة عن الصناعة على أي أثر ضار (٧، ٥١) .

٣. دور الأحياء الدقيقة في الصناعة

الكثير من المواد المفيدة والمطلوبة هي من إنتاج الأحياء الدقيقة. ومن الناحية الصناعية، تُعدّ المواد الخام وسطا غذائيا للأحياء الدقيقة؛ إذ تستهلك هذه الأحياء المواد الخام، وتعطي مواد ذات قيمة اقتصادية عالية. وهنالك مواصفات يجب توافرها في كل من المواد الخام المستعملة، والأحياء الدقيقة التي ستقوم بالعملية، والنواتج. هذه المواصفات هي:

- المواد الخام: أن تكون رخيصة ومتوافرة باستمرار.

- الأحياء الدقيقة: أن تكون غير ضارة Nonpathogenic، ولها القدرة على النمو السريع، والقدرة على إنتاج كميات كبيرة من المواد المراد تصنيعها. ويفضل الأحياء الدقيقة المنتجة لمادة نقية واحدة Homofermantative.

- الناتج: أن يكون مادة نقية واحدة، وليس مزيجا من المواد؛ إذ إن المزيج يزيد من كلفة الإنتاج. ويجب أن يكون الناتج ذا قيمة اقتصادية عالية، وإمكانية التسويق متوافرة له.

ومن القطاعات الصناعية التي تعتمد اعتماداً رئيسيًا على الأحياء الدقيقة قطاعات إنتاج المواد الآتية:

- الكحول Alcoholic beverages.
- المواد الكيميائية الصيدلية Pharmaceutical chemicals.
- المركبات العضوية Organic chemicals.
- الأمصال والمضادات الحيوية Vaccines and antibiotics (٥).

٤. تطبيقات التكنولوجيا الحيوية في المجالات الصناعية المختلفة

أ. إنتاج الطاقة

إنّ المصادر المستخدمة في إنتاج الطاقة بواسطة التكنولوجيا الحيوية يمكن تجديدها؛

أي أنّها مصادر يمكن أن تحرق بثبات وأن تستبدل . فإنتاج الطاقة هنا يتحقق باستغلال الكتلة الحيوية مصدراً للطاقة . والكتلة الحيوية هي مادة أصلها بيولوجي ؛ مثل : الأشجار الساقطة ، ونفايات الغابات ، وبقايا النباتات ، والسراخس ، والطحالب ، وروث الحيوانات (٢) .

وهنالك أنواع عدة من الطاقة يمكن إنتاجها من الكتلة الحيوية ؛ منها :

١ . الغازوحول Gasohol

من الممكن إنتاج هذا الغاز باستخدام الَّلثى (لبن النبات) الهيدروكربوني وقوداً سائلاً . والَّلثى هو سائل لزج يمكن أن يفرز من ساق النبات . وأفضل مثال عليه هو المطاط الطبيعي ؛ فهذا يصنع من اللثى الذي تفرزه شجرة المطاط . كما تُنتج الطاقة بتخمير النشا المستخلص من نباتات الكاسافا ، لإنتاج الإيثانول الذي يخلط مع الغازولين بنسب معينة ؛ ثم يعامل معاملات خاصة لإنتاج الغازوحول . ويستخدم هذا الغاز وقوداً للسيارات ، ومصدراً للطاقة تستغّل في تدفئة المنازل ، وللتوفير في الوقود . وهنالك أمثلة كثيرة على استخدام نباتات لإنتاج وقود سائل . لكن ، لا يمكن أن تفكر في ذلك إلا دولة شاسعة الاتساع مثل البرازيل ؛ إذ بافتراض أن هكتار الأرض سيغل ١٢ طنّا من الكتلة الحيوية في العام ، فإن المساحة المفروض زراعتها لتوفير احتياجات الدولة من الطاقة هي ١٠٠٪ في إيطاليا ، و٢٥٠٪ في بريطانيا . أي ستكون الحاجة إلى زراعة إيطاليا بأكملها ، من دون أن يترك أي مكان للطرق والمدن وحتى الناس ؛ وإلى مساحة تبلغ ٢,٥ ضعف مساحة بريطانيا (٢) .

٢ . الغاز الحيوي Biogas

يعتمد إنتاج هذا الغاز على أساس أن جميع المواد العضوية ، عند تحللها بفعل الأحياء الدقيقة (بالأخص البكتيريا اللاهوائية) ، تنتج غاز الميثان ؛ مصحوبًا بغازات أخرى مثل CO_2 (٦) . وتحدث عملية تحلل المواد العضوية كما يأتي :

تفرز بكتيريا *Clostridium* اللاهوائية إنزيمات محللة للمواد العضوية، مثل لايبيز وپروتييز وسليوليز؛ تحلّل هذه المواد وتنتج محاليل، وحموضًا عضوية ودهنية، وغاز الهيدروجين، وغاز ثاني أكسيد الكربون. هذه المواد تستهلك مرة ثانية بواسطة بكتيريا لاهوائية أُخرى تسمى *Methanobacterium*، تُنتج في المحصلة النهائية غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون (٦). إن إنتاج غاز الميثان مستخدم بكثرة في القرى والأرياف التي لم يصلها التيار الكهربائي؛ خصوصًا في الدول ذات المساحات الشاسعة، مثل الهند والصين. وتُعدّ عملية إنتاج غاز الميثان لسد حاجة الاستهلاك البشري من الطاقة الكهربائية عملية اقتصادية جدا؛ إذ يمكن التخلص من الفضلات وإنتاج مواد عضوية مفيدة في تسميد المزارع؛ إضافة إلى إنتاج هذا الغاز (٦).

ب. مجالات التعدين

يُعوّل في الوقت الحاضر على بكتيريا *Thiobacillus* في تنقية أكثر من ١٥٪ من النحاس الموجود في العالم؛ إذ تستطيع هذه البكتيريا تركيز النحاس. ذلك أنها إذا نمت في بيئة تحتوي على أملاح النحاس، فإنها تجمّع بالتدريج كميات ضخمة منها داخل أجسامها، وتنقلها من البيئة المحيطة. كما توجد بكتيريا تستخلص اليورانيوم ببطء من ماء البحر. ويذكر أن كمية النحاس المستخلصة في عموم الولايات المتحدة الأمريكية بطريقة استعمال البكتيريا هي بحدود ١٠ - ٢٠ ٪؛ بطاقة إنتاجية تقدر بـ ٢٠٠ طن يوميًا. والحالة نفسها في كندا؛ إذ يجري تنقية ٥٠ طنًا سنويًا من أكاسيد اليورانيوم، وبعض المعادن الثمينة الأخرى (٢، ٦).

ج. إنتاج الإنزيمات

إن إنزيم الرينين، الذي يستخلص من معدة العجول والأبقار ويستخدم في صناعة الجبن، أمكن إنتاجه بهندسة الجينات؛ وذلك بنقل جين الرينين إلى بكتيريا. وكانت كلفة إنتاج الكيلوغرام الواحد من هذا الإنزيم عام ١٩٨٠، باستعمال الطرق التقليدية، ٢٦٠٠ دولار تقريبًا؛ أي أغلى من أفضل أنواع الجبن (٢).

د. إنتاج المطاعيم والأمصال والمضادات الحيوية

يستخدم عدد كبير من الأحياء الدقيقة، كالڤيروسات والبكتيريا، في إنتاج المطاعيم والأمصال التي تستعمل في تحصين الإنسان ضد شتّى الأمراض.

إن إنتاج الجيل القديم من اللقاحات كان يعتمد على طريقتين:

- أن يكون الميكروب مقتولاً؛ لكنه يحتفظ بقدرته على إحداث المناعة.

- أن يكون الميكروب حيًّا، لكن بعْد إضعافه، لمنعه من أن يسبب المرض؛ مع احتفاظه بالقدرة على إحداث المناعة (٤).

أما الجيل الجديد من اللقاحات، فينتج باستخدام التكنولوجيا الحيوية بطريقتين:

- الطريقة الأولى تعتمد على تنمية بكتيريا غير ضارة، توضع فيها جينات تُشفّر لبروتينات (مولدات ضد)، تستثير إنتاج الأجسام المضادة الواقية من الميكروبات المسببة للمرض؛ ويمكن بعدها تنقية هذه البروتينات باستخدام أجسام مضادة نقية. وقد أنتجت بهذه الطريقة لقاحات ضد الالتهاب الكبدي ب، والتيتانوس، والدفتيريا، ومرض القدم والفم في الماشية.

- في الطريقة الثانية، توضع جينات داخل ميكروب غير ضار، يعمل كحامل للجينات المصنعة للقاحات؛ وبهذا، فإنه ينتج (مولدات ضد) تستثير إنتاج الأجسام المضادة (٤).

ويبين الجدول (٣) بعض الأمثلة على أنواع المطاعيم التي تنتجها الأحياء الدقيقة، وبعض استعمالاتها.

الجدول (٣): أنواع المطاعيم التي تنتجها الأحياء الدقيقة، وبعض استعمالاتها.

الأمراض	المطاعيم	ملاحظات
١. أمراض بكتيرية:		
أ. الدفتيريا	المطعوم الثلاثي؛ ويتكوّن من: سم الدفتيريا + سم التيتانوس + خلايا ميّتة من بكتيريا السعال الديكي	تعطى للأطفال في عمر ٢ ـ ٣ أشهر
ب. مرض السُّلّ	مستخلص من البكتيريا المسبّبة للمرض Mycobacterium tuberculosis	تعطى للأشخاص المعرّضين للمرض، والأطفال من عمر ٣ ـ ٤ أعوام
٢. أمراض فيروسيّة:		
أ. الحصبة	فيروس خامل	تعطى للأطفال في عمر ١٢ ـ ١٨ شهراً
ب. الكساح	فيروس خامل	تعطى للأطفال في عمر ٢ ـ ٣ أعوام

وثمة إمكانات لتطبيقات كثيرة في مجال تحسين اللقاحات، منها محاولة العلماء إنتاج لقاح ضد مرض نقص المناعة المكتسب (الإيدز)؛ وذلك ببناء جينات تشفر لصنع غلاف الفيروس البروتيني بطريقة صناعية، ومن ثم وضعها في خلايا بكتيرية لإنتاج كميات كبيرة من هذه البروتينات الفيروسية، تكون كافية لإنتاج أجسام مضادة ضد المرض حين حقن الإنسان بها. ويتوقع لهذه الطريقة النجاح لعمل لقاحات ضد مرض الإيدز (٨).

وتستخدم بعض أنواع الفطريات والبكتيريا لإنتاج المضادات الحيوية الضرورية لمقاومة الكثير من الأمراض التي تهدد حياة الإنسان. و الجدول (٤) يلخص الأنواع الرئيسية للمضادات الحيوية، والأحياء الدقيقة المنتجة لها (٥).

الجدول (٤): الأنواع الرئيسية للمضادات الحيوية، والأحياء الدقيقة المنتجة لها.

	نوع المضاد الحيوي	الأحياء الدقيقة المنتجة	الأحياء الدقيقة الحساسة
١	بنسيلين Penicillin	Penicillium chrysogenum	بكتريات غرام الموجبة
٢	سيفالوسبورين Cephalosporin	Cephalosporium acemonium	معظم أنواع البكتيريا
٣	غريزيوفولفين Griseofulvin	Penicillium griseofulvum	الفطريات
٤	أمفوتريسين - ب Amphotericin-B	Streptomyces nodosus	الفطريات
٥	كلورامفينيكول Chloramphenicol	Streptomyces venezuelae	معظم أنواع البكتيريا؛ خاصة غرام السالبة
٦	إريثرومايسين Erythromycin	Streptomyces erythraeus	بكتيريا غرام الموجبة
٧	نيومايسين - ب Neomycin-B	Streptomyces fradiae	معظم أنواع البكتيريا
٨	نياستاتين Nystatin	Streptomyces nourei	الفطريات
٩	بوليمكسين - ب Polymyxin-B	Bacillus polymyxa	بكتيريا غرام السالبة
١٠	باسيتراسين Bacitracin	Bacillus licheniformis	بكتيريا غرام الموجبة

هـ. صناعة البروتينات والهرمونات

لا تقل التطبيقات العملية في مجال صناعة البروتينات عن تلك في تحسين اللقاحات، إنْ لم تتفوق عليها؛ إذ إنّ أكبر عدد من تطبيقات التكنولوجيات الحيوية حتى الآن أُنجز في هذا المجال (٤). ويمكن تلخيص أهم الإنجازات بما يأتي:

١. إنتاج هرمون الإنسولين، الذي يستخدم لعلاج مرضى السكّري: فقد كانت صناعة الإنسولين بالطرق التقليدية تُنجز باستخلاصه من غدد البنكرياس الحيوانية.

وكان إنتاج ١٠٠غم من الإنسولين بحاجة إلى ٣٥٠٠ كغم من هذه الغدد؛ في حين أنه باستخدام التكنولوجيا الحيوية يمكن إنتاج الكمية نفسها من الإنسولين من وعاء تخمير يبلغ حجمه ٢٠٠٠ لتر. إضافة إلى ذلك، فإن هرمون الإنسولين المشتق من الأبقار والخنازير ليس مطابقًا من الناحية الكيميائية لإنسولين الإنسان؛ الأمر الذي يجعل أجسامَ نسبة ليست قليلة من مرضى السكري تفرز أجسامًا مضادة للإنسولين عند حقنه؛ ومن ثَمّ يعامل الجسم الإنسولين على أنّه بروتين غريب، ويبدأ بهدمه قبل أن يستخدمه. يسيطر على إنتاج الإنسولين في الدول المتقدمة شركتان هما: شركة **إيلاي ليلي** Eli Lilly الأمريكية، وشركة **نوڤو إندَسْتري** Novo Industry الدنماركية. وتتبع كل شركة طريقة خاصة بها لإنتاج الأنسولين بالطرق الحيوية الحديثة. ففي حين طوّرت شركة **نوڤو إندستري** وسيلة لتحويل إنسولين الخنازير إلى الإنسولين البشري، بنزع الحَمْض الأميني الموجود في هرمون الخنازير والاستبدال به الحمض الأميني الموازي الموجود في الهرمون البشري، اعتمدت شركة **إيلاي ليلي** البكتيريا المعدّلة جينيا لتخليق الإنسولين البشري.

٢. إنتاج هرمون النمو عند الإنسان، سوماتوستاتين Somatostatin: يُنتَج هذا الهرمون لعلاج الأطفال المصابين بالتقزم النخامي الذي يَنْجم عنه أفراد بالغون قصار قصرًا شاذًا. وقد كان هذا الهرمون يستخلص من الغدد النخامية للجثث بكلفة باهظة؛ إذ كانت كلفة الهرمون المستخلص من ٧٠ غدة نخامية لمعالجة طفل واحد بحدود ١٥ ألف دولار سنويًا. لكن، باستخدام التكنولوجيا الحيوية وبواسطة بكتيريا *Escherichia coli*، أمكن إنتاج هرمون النمو بكلفة رخيصة. وتقدر كمية الهرمون المنتج من وعاء تخمر بكتيري سعته ١٥٠٠ لتر في ٢ ـ ٥ أيام بما يعادل المادة المستخلصة من ٦٠٠–٧٠٠ ألف جثة (٦). ومبدأ التكنولوجيا الحديثة هو تصنيع جين سوماتوستاتين؛ ثم ربطه إلى الناقل البلازميد Plasmid الموجود في بكتيريا *E. coli*. والناقل يحمل جين إنزيم بيتا ـ غالاكتوزيديز β-Galactosidase (المسؤول عن تحطيم اللاكتوز في البكتيريا إلى غلوكوز وغلاكتوز). وعند التعبير عن الجين الهجين، ينتج بروتين مكون من إنزيم بيتا ـ غالاكتوزيد؛ مربوطًا بهرمون سوماتوستاتين، بواسطة

الحمض الأميني ميثيونين Methionine . ثم في المختبر، وبعيداً عن الخلية، يُفصل الحمض الأميني ميثيونين مع جزء من الإنزيم بيتا ـ غالاكتوزيديز؛ وبذلك ينتج هرمون سوماتوستاتين النشط (٨). وهذه الطريقة لإنتاج الهرمون لها ميزة رئيسية هي خلو الهرمون من التلوث بالفيروسات؛ مقارنة بطريقة استخلاصه من الأنسجة الحيوانية. وتتضح مخاطر ذلك التلوث من حادثة وفاة ٣ أشخاص في أواخر الثمانينيات من القرن العشرين، نتيجةً لتعاطيهم في الستينيات والسبعينيات هرمون سوماتوستاتين، استُخلص من الغدد النخامية لجثث بشرية (٤).

٣ . انتاج الإنترفيرون Interferon : تمكنت شركات صناعية عدّة من إنتاج كميات كبيرة من الإنترفيرون بواسطة التكنولوجيا الحيوية. ويستعمل الإنترفيرون علاجًا لبعض أنواع السرطان، وبعض أمراض العدوى بالفيروس (٤). وكان يُنتج من خلايا الدم البيضاء في عملية تستهلك ٤٠-٥٠ ألف لتر من الدم، لإنتاج ١٠٠ ملي غم من الإنترفيرون النقي؛ وهذه الكمية كافية لمعالجة ٢٠٠-٢٥٠ مصابًا (٦).

٤ . صناعة العوامل الحاثة على تكاثر الخلايا : تعزز هذه العوامل إنتاج خلايا الدم البيضاء، وتقوم بدور رئيسي في الاستجابة المناعية ضد العدوى. وأحد هذه العوامل عامل حث تكاثر الخلايا البيضاء المحببة. وهو مفيد كوسيلة للتغلب على التأثيرات الجانبية لكثير من الأدوية المضادة للسرطان؛ إذ تميل هذه الأدوية إلى عرقلة إنتاج خلايا الدم البيضاء؛ ما يجعل المريض مستهدفًا للعدوى. ومرضى الإيدز يُعطى لهم عامل حث تكاثر الخلايا المحببة الملتهمة، لتعزيز إنتاج الخلايا البيضاء (٤).

٥ . صناعة الإريثروبويتين Erythropoietin : يحث هذا على إنتاج خلايا الدم الحمراء في نخاع العظام. ويُصنع الإريثروبويتين بواسطة نوع من القوارض الصغيرة يسمى الهمستر الصيني؛ وليس بواسطة البكتيريا. وسبب ذلك أن المنتَج النهائي من خلايا الهمستر تكون أقرب للصورة البشرية من المنتج النهائي المصنّع من البكتيريا. ويستخدم الإريثروبويتين في مقاومة الأنيميا، التي يعاني منها المصابون بالفشل الكلوي المزمن، ممن يعالجون بالغسيل الكلوي. وهؤلاء المرضى يحتاجون، من دون هذا الدواء، إلى عمليات نقل دم متكررة.

٦ . إنتاج المنشط النسيجي للپلازمينوجين: عند الإصابة بالجُلطة التاجية، تُحقن هذه المادة بصورتها المعدلة جينيّاً في المرضى، لتذيبَ جلطات الدم.

٧ . إنتاج پروتينات تجلط الدم، التي تكون ناقصة في مرضى الهيموفيليا (مرض زيادة سيولة الدم، وتأخر تجلطه عند النزف).

٨ . استخدام الڤيروسات بديلاً للبكتيريا في إنتاج الأدوية: ومثال ذلك استخدام بعض أنواع الڤيروسات التي تهاجم يرقات الآفات الزراعية؛ إذ يأمر الڤيروس خلايا اليرقة المصابة بالڤيروس بصنع پروتين ڤيروسي معين يؤدي إلى قتل الحشرة في أيام معدودة. وفكرة استخدام الڤيروس تقوم على حذف جين هذا الپروتين، والاستبدال به أي جين آخر يُشفّر لصنع اللقاح المرغوب فيه. وبهذه الطريق، ة يمكن باستخدام آلاف معدودة من اليرقات إنتاج الكثير من الغرامات من الپروتين البشري؛ عوضاً عن تنمية البكتيريا المعدّلة جينيّاً في مزارعَ ضخمة. وهذا يَعني إنتاج اللقاحات بكلفة تبلغ عُشر الكلفة الحالية.

الجُزء الثاني

الأنظمة والتشريعات في مجال التكنولوجيا الحيويّة

مقدّمة

صاحب التطورَ السريع في مجال إنتاج النباتات المعدّلة جينيّـًا كثيرٌ من التساؤلات حول الآثار السلبية لزراعة هذه النباتات واستعمالها على صحة الإنسان والحيوان، وعلى البيئة (١٠). هذه التساؤلات دفعت بالكثير من دول العالم، مثل الولايات المتحدة الأمريكية ودول الاتحاد الأوروبي، إلى وضع القوانين والأنظمة لضبط إنتاج الكائنات الحيّة المعدلة جينيّـًا Genetically modified organisms (GMOs) وتداولها، ومراقبة الأغذية التي تُستعمل في إنتاجها الطرق الحديثة للتكنولوجيا الحيوية واستهلاكها.

ويمكن تلخيص أهم هذه التساؤلات في مجالات التكنولوجيا الحيوية المختلفة بما يأتي:

١. تساؤلات في مجال إنتاج النباتات المعدلة جينيًا

تُنتج كثير من الشركات العالمية المتخصصة في مجال التكنولوجيا الحيوية محاصيلَ زراعية ذات صفات وراثية جديدة. وهذه المحاصيل إما أن تكون مقاومة لبعض مبيدات الأعشاب، أو تكون مقاومة للإصابة ببعض الأمراض النباتية أوَ الحشرات الضارة. وبلغت المساحة المزروعة بالمحاصيل المعدلة جينيًا في عام ١٩٩٨ (٢٧٠) مليون دونم تقريبًا في مختلف دول العالم. وقد احتلت الولايات المتحدة الأمريكية المرتبة الأولى بين الدول من حيث المساحة المزروعة بالنباتات المعدلة جينيّـًا. فعلى سبيل المثال، قدرت نسبة المساحات المزروعة بنباتات الذرة الصفراء المعدلة جينيّـًا بحوالي ٢٦٪؛ وفول الصويا بحوالي ٢٧٪؛ ومحصول القطن بنحو من ٤٤٪. أما نسبة محصول البطاطا المعدلة جينيّـًا، فكانت ٣٪ (٩، ١١، ١٤، ٣٣، ٣٦، ٣٨).

أ . النباتات المقاومة لمبيدات الأعشاب

إن الهدف الرئيسي من إنتاج هذه النباتات هو التقليل من استعمال مبيدات الأعشاب المتخصصة للقضاء على الأعشاب الضارة. فالنباتات المعدلة جينيًّا لن تتأثر عند رش الحقل بمبيد عام، مثل مبيد Glyphosate، لاحتوائها على الجينات التي تجعلها مقاومة لهذا المبيد. لكن، في الوقت نفسه، سوف تتأثر جميع الأعشاب بمفعول المبيد؛ ومن ثمّ يُقضى عليها. وتشير دراسة أجريت على ١٠٠٠ حقل من حقول فول الصويا في الولايات المتحدة الأمريكية إلى أن نسبة استعمال مبيدات الأعشاب انخفضت في تلك الحقول إلى ٤٠ – ٧٠ ٪؛ مقارنة بالحقول التي تزرع فول الصويا غير المعدل جينيًا (٩).

وبالرغم من الفوائد الكثيرة لهذه التكنولوجيا، فإنّ البعض يرى أن استخدام هذا النوع من المحاصيل قد يؤدي إلى مشكلات بيئية يصعب التغلب عليها؛ منها:

ـ انتقال الجينات المسؤولة عن مقاومة مبيدات الأعشاب من النباتات المعدلة جينيًّا إلى أعشاب داخل الحقل: إن إمكانية حدوث التلقيح الخلطي، وانتقال حبوب اللقاح بين النباتات في الحقل، قد يؤدي إلى انتقال الجينات من النباتات المعدلة جينيًّا إلى أعشاب أخرى داخل الحقل؛ الأمر الذي يجعل عملية التخلص من هذه الأعشاب باستعمال مبيدات الأعشاب عملية صعبة، تحتاج إلى كثير من الجهد والوقت والمال.

ـ قد تنتقل حبوب لقاح النباتات المعدلة جينيًّا بواسطة الرياح إلى الحقول المجاورة؛ وبذلك، تصبح نباتات غير مرغوب فيها (أعشابًا). وللتخلص من هذه النباتات، لا بد من استخدام طرق أخرى غير المكافحة الكيميائية؛ ما يتطلب مزيداً من الوقت والجهد (١٠، ١٥، ٣٣، ٤٠، ٤١، ٥٢).

ب. النباتات المقاومة للأمراض النباتية

تُعدّ الأمراض الفيروسية من أهم الأمراض النباتية التي استخدمت في مكافحتها الطرق الحديثة للتكنولوجيا الحيوية. وتعتمد تكنولوجيا إنتاج النباتات المقاومة

للأمراض الڤيروسية على نقل جينات معينة من الڤيروس المسبِّب للمرض إلى النبات، الذي يصبح بدوره مقاومًا للإصابة بالڤيروس المأخوذ منه جين المقاومة. وقد اعتمدت الشركات الزراعية العالمية على هذه التكنولوجيا في إنتاج الكثير من الخضراوات، مثل الخيار والكوسا والبطيخ، المقاومة لأمراض ڤيروسية؛ كڤيروس تبرقش الخيار، وڤيروس تبرقش البطيخ. وتأتي خطورة هذه الطريقة في إنتاج النباتات المقاومة للأمراض الڤيروسية من إمكانية اندماج المادة الجينية للڤيروس مع الجينات الموجودة في النباتات، التي مصدرها ڤيروسات تتبع سلالات أخرى. ونتيجةً لهذا الاندماج، تنتج سلالات جديدة من الڤيروسات، لها القدرة على التغلب على جينات المقاومة الموجودة في النباتات. إضافة إلى ذلك، يصبح لهذه السلالات مدى عائلي جديد Host range؛ وتصبح نباتات جديدة مهددة بالإصابة بهذه الڤيروسات (٢٢، ٢٤-٢٧، ٣٢، ٣٤، ٤٤، ٤٦، ٤٧، ٥٢، ٥٤، ٥٥).

ج. النباتات المقاومة للحشرات

تُعدّ نباتات الذرة الصفراء المقاومة لحشرة حفار ساق الذرة من أول النباتات، التي أُنتجت على نطاق تجاري واسع باستخدام التكنولوجيا الحيوية. فقد نُقل جين معيّن مسؤول عن إنتاج بروتين سام إلى هذه الحشرة من بكتيريا *Bacillus thuringiensis*. وبهذه الطريقة، جرى التغلب على الأضرار التي كانت هذه الحشرة تسببها للمزارعين. وقُدّرت الخسائر الناتجة عن الإصابة بهذه الحشرة في مختلف دول العالم ما بين ٧-٢٠٪ من مجموع ناتج محصول الذرة الصفراء (١٣، ١٦، ٤٢، ٤٩). ويتوقع الباحثون أن زراعة النباتات المعدلة جينيًّا، والمقاومة لهذه الحشرة، سيؤدّي إلى زيادة في محصول الذرة الصفراء في كل من الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا بحوالي ٧ - ١٠ مليون طن. كما أن زراعة نباتات القطن المعدلة جينيًّا في ولاية ألاباما الأمريكية أدى إلى خفض استعمال المبيدات الحشرية بحوالي ٨٠٪ (١٦). وقد قُدّر إجمالي الأرباح التي حصل عليها منتجو القطن في الولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٩٩، نتيجة لزراعة نباتات القطن المعدلة جينيًّا، بحوالي ٩٢ مليون دولار (٣٠، ٣٥،

٣٨). وبالرغم من الفوائد الكثيرة المتوقعة من زراعة النباتات المعدلة جينيًّا، فإنّ البعض يرى أن زراعة هذه النباتات قد يؤدي إلى ما يأتي:

- تكوين المناعة: إن زراعة النباتات المقاومة للحشرات بشكل مكثف قد يؤدي، مع مرور الوقت، إلى تكوين المناعة لدى الحشرات للبروتينات السامة التي تنتجها هذه النباتات. ومن ثمّ، فإن فعالية هذه السموم في التخلص من الحشرات تقل؛ ويصبح من الصعب التخلص من السلالات الجديدة باستخدام هذه التكنولوجيا.

- التأثير السلبي على الكائنات الحية الأخرى: إن السموم المنتجة داخل النباتات المعدلة جينيًّا قد لا تكون متخصصة ضد نوع معين من الحشرات؛ الأمر الذي قد يعرض الكثير من الحشرات الأخرى النافعة لخطر هذه السموم (١٣، ٢٢، ٤٥، ٥٣).

٢. تساؤلات في مجال إنتاج المواد الغذائية

إن الهدف الأساسي من زراعة النباتات هو استعمالها، أو استعمال منتجاتها، في إنتاج المواد الغذائية. ويعرف الطعام المعدّل وراثيًّا في دول الاتحاد الأوروبي على أنه كائنات حية عُدّلت جينيًّا؛ أو مواد غذائية استعمل في إنتاجها كائنات حية معدلة جينيًّا، بحيث أصبحت تحتوي على مادة جينية جديدة أو بروتين جديد نتج عن عملية التعديل الجيني (١١، ٢٠، ٢١، ٣٧).

وفي كثير من دول العالم المتقدم، لا يُسمح باستهلاك المواد الغذائية المعدلة جينيًّا، قبل إجراء الاختبارات المخبرية المكثفة لتعرّف الآثار السلبية، التي قد تنتج عن استهلاك هذه المواد الغذائية، على صحة الإنسان. وفيما يأتي بعض النقاط المهمّة التي يجب أخذها في الحسبان قبل السماح باستهلاك المواد الغذائية المعدلة جينيًّا:

- يجب التأكد أن البروتينات والإنزيمات المنتجة من الجينات المنقولة إلى النباتات أو الحيوانات غير سامة للإنسان، وليس لها أي مضاعفات جانبية قد تؤثر على الصحة.

- أن لا يكون لنواتج الجينات، من بروتينات أو إنزيمات، أي أثر سلبي على صحة الكائنات الحية الأخرى التي تستعمل طعامًا للإنسان، مثل الطيور والأسماك.

ـ يجب التأكد من أنّ منتجات الجينات المنقولة لا تسبب أي نوع من الحساسية للأشخاص الذين يتناولون الأطعمة المعدلة جينيّاً.

ـ تعتمد تكنولوجيا نقل الجينات من كائن إلى آخر على استخدام ناقل معين مثل البلازميد. ولهذا الناقل القدرة على مقاومة بعض المضادات الحيوية، مثل كنامايسين Kanamycin ونيومايسين Neomycin. لذلك، يجب التأكد من أن الجينات المسؤولة عن مقاومة المضادات الحيوية لا تنتقل من النباتات أو الحيوانات المعدلة جينيّاً إلى جسم الإنسان. فإذا حدث ذلك، تصبح استجابة جسم الإنسان للمضادات الحيوية عند الحاجة إليها ضعيفة.

ـ أن لا يكون للكائنات الحية الدقيقة المعدلة جينيّاً التي تدخل في صناعة المواد الغذائية، كالجبن واللبن، أي تأثير سلبي على القيمة الغذائية لهذه المنتجات (٤٣، ٤٩).

وحرصًا على سلامة الإنسان والبيئة المحيطة به من أي آثار سلبية للكائنات الحية المعدلة جينيّاً، وضعت الكثير من دول العالم، مثل الولايات المتحدة الأمريكية ودول الاتحاد الأوروبي وكندا وأستراليا، قوانين وأنظمة تضبط من خلالها إنتاج الكائنات الحية (نباتات، أو حيوانات، أو أحياء دقيقة) المعدّلة جينيّاً، وتداولها، واستهلاكها (٤٨).

وفيما يأتي لمحة عن أهم الأنظمة والتشريعات المتبعة في بعض الدول المتقدمة:

٣. القوانين والتشريعات في الولايات المتحدة الأمريكية

تُعدّ الولايات المتحدة الأمريكية من أكثر الدول اهتمامًا بالتكنولوجيا الحيوية، واعتمادًا على هذه التكنولوجيا، لإنتاج كائنات حية (نباتات أو حيوانات) معدلة جينيّاً.

إن تنظيم عملية إنتاج الكائنات الحية المعدلة جينيا في الولايات المتحدة الأمريكية تقع ضمن اختصاص ثلاث منظمات فدرالية، هي:

ـ وزارة الزراعة الأمريكية

United States Department of Agriculture (USDA)

ـ إدارة الغذاء والدواء (FDA) Food and Drug Administration

ـ وكالة حماية البيئة (EPA) Environmental Protection Agency.

أ. وزارة الزراعة الأمريكية

إنّ قسم خدمة المعاينة الصحّيّة للحيوان والنبات Animal and Plant Health Inspection Service (APHIS)، التابع لوزارة الزراعة الأمريكية، هو القسم المخوّل بتنظيم عملية تداول النباتات المعدلة جينيا في الولايات المتحدة الأمريكية. ويعتمد هذا القسم على قانون الآفات الزراعية والحَجْر الصحي في تنظيم إنتاج النباتات المعدلة جينيًا، وتداولها. ومن صلاحيات هذا القسم إصدار التصاريح الخاصة باستيراد النباتات المعدلة جينيا إلى داخل الولايات المتحدة الأمريكية. وللحصول على مثل هذا التصريح، يجب على الشركات التي تستورد هذه النباتات أن تزود القسم بمعلومات وافية عن النباتات المراد استيرادها. وبعد دراسة الطلب من جانب الجهات المختصة، والتأكد من أن هذه النباتات لا تخالف قانون الحجر الصحي الأمريكي، يصدر القسم التراخيص التي بموجبها تستطيع الشركات الزراعية إدخال النباتات المعدلة جينيًا إلى البلاد (٢٢، ٢٩، ٤٩).

ويمكن تلخيص المعلومات، التي يجب على الجهات الراغبة في الحصول على تصاريح لاستيراد نباتات معدلة جينيّاً تزويد قسم خدمة المعاينة الصحّيّة للحيوان والنبات بها، على النحو الآتي:

ـ مصدر الجين: معلومات عن الكائن الحي الذي حُصل منه على الجين المرغوب فيه.

ـ العائل الذي استعمل في عملية نقل الجينات.

ـ وصف للصفات الجديدة التي تظهر على النباتات المعدلة جينيًا.

ـ الهدف الأساسي من إنتاج النباتات المعدلة جينيًا، وتداولها.

ـ المكان الذي ستُزرع فيه النباتات.

ـ عدد المرات التي ستُستَوْرد فيها النباتات.

ـ الطرق والأساليب التي ستتخذ للتخلص من النباتات.

بعد استيراد النباتات المعدلة جينيًا، وقبل السماح ببيعها في الولايات المتحدة الأمريكية، يتأكد هذا القسم أن هذه النباتات غيْر مصابة بآفات زراعية؛ ومن ثمّ لا تخضع لقانون الآفات الزراعية رقم 7CFR-340. وللتأكد من هذا الأمر، يجب تزويد القسم بالمعلومات الآتية:

ـ الهدف من إنتاج النباتات المعدلة جينيًا.

ـ معلومات عامة عن النباتات؛ مثل: التصنيف Taxonomy، والوراثة Genetics، وعمليات التلقيح Pollination، وإمكانية انتشارها داخل الحقل كأعشاب Weediness.

ـ الطرق والتقنيات التي اتبعت في إنتاج النباتات.

ـ وصف للجينات المنقولة للنبات.

ـ التحليل الوراثي Genetic analysis، والأداء الحقلي للنباتات Field performance.

ـ الآثار البيئية الناتجة عن استيراد النباتات.

ـ أي معلومات أخرى يمكن أن تؤثر على عملية اتخاذ القرار (٤٣).

ب. إدارة الغذاء والدواء

من المهمّات الرئيسية لإدارة الغذاء والدواء مراقبة جميع المنتجات الغذائية والدوائية، التي استعمل في إنتاجها كائنات حية معدلة جينيًا. وللحصول على موافقة هذه الإدارة على بيع المواد الغذائية التي أنتجت بواسطة هندسة الجينات، يجب على الشركات المنتجة تزويد الإدارة بالمعلومات الآتية (٤٩):

- مصدر الجينات المنقولة: هل المصدر نباتات يُعرف بأنها تسبب الحساسية للإنسان؟
- وصف للجينات المستعملة في هندسة الجينات.
- وصف للبروتينات الناتجة عن الجينات المنقولة.
- وصف لوظيفة البروتينات الناتجة عن الجينات المنقولة.
- الإشارة إلى نسبة تلك البروتينات التي قد تكون موجودة في المواد الغذائية.
- أي معلومات أخرى تدل على سلامة استعمال المواد الغذائية.

ج. وكالة حماية البيئة

الدور الأساسي لهذه الوكالة هو المحافظة على البيئة ومنع تلوثها؛ خاصة بالمبيدات الكيميائية التي تستعمل للقضاء على الآفات الزراعية. وكما ورد في القانون الفدرالي للمبيدات الحشرية والفطرية ومبيدات القوارض Federal Insecticide, Fungicide & Rodenticide Act، يُعرّف مبيد الآفات بأنّه أي مادة، أو مزيج من موادَّ عدة، تستعمل للقضاء على أي آفة زراعية. وبذلك، فإن هذا التعريف لمبيدات الآفات يشمل عددًا من النباتات المعدلة جينيّا، التي تكون مصدرًا لبعض المركبات السامة، مثل البروتينات، للقضاء على بعض الآفات الزراعية. لذلك، فإن وكالة حماية البيئة تنهض بدور مهم في تنظيم تداول هذه النباتات. كما تتأكد الوكالة أن المواد السامة المستخلصة من النباتات ليس لها أي تأثير سلبي على البيئة، أو على الكائنات الحية غير المستهدفة. أما إذا دلت الدراسات على عكس ذلك، فتمنع الوكالة انتشار هذه المركبات وتداولها والنباتات التي استخلصت منها (٢٢، ٤٠).

تخضع جميع التجارب الحقلية للنباتات المعدلة جينيًا، التي تستخدم لإنتاج مواد سامة، إلى مراقبة وكالة حماية البيئة الأمريكية. وعلى الجهات التي ترغب في القيام بمثل هذه التجارب التقدم بطلب إلى الوكالة. ويجب أن يحتوي الطلب على المعلومات الآتية:

ـ الغاية من إجراء التجارب، والهدف الرئيسي من إدخال المنتجات الجديدة.

ـ إعطاء معلومات عامة ومفصلة عن النباتات التي ستستخدم في التجربة.

ـ توفير معلومات عن المنتجات الجديدة (البروتينات)، وصفات الجين المنقول إلى هذه النباتات؛ إضافة إلى معلومات عن الكائن الحي، مصدر هذه الجينات.

ـ المساحة الكلية التي ستستخدم في التجربة؛ والإجراءات الوقائية التي اتبعت لمنع انتقال النباتات، أو أجزاء منها، إلى الحقول المجاورة.

ـ معلومات عن الناقل الذي استعمل في إنتاج النباتات، والطريقة التي اتبعت في عملية نقل الجينات .

ـ معلومات عن عمليات التخزين، والحصاد، وطرق التخلص من بقايا المحصول.

استناداً إلى هذه المعلومات، وبعد دراسة الطلبات المقدمة لوكالة حماية البيئة، والتثبت من أن المواد المنتجة من هذه النباتات لن تشكل أي آثار سلبية على البيئة والحياة البرية، تصدر الوكالة تصاريح للقيام بالتجارب الحقلية (٤٣).

٤. القوانين والتشريعات في دول الاتحاد الأوروبي

سنّت دول الاتحاد الأوروبي عام ١٩٩٠ القانونين 90/219/EEC و 90/220/EEC، للتعامل مع الكائنات الحية المعدلة جينيّاً؛ سواء على مستوى المختبر أو على مستوى الحقل. وتلتزم جميع الدول الأوروبية، التابعة للاتحاد، بتطبيق جميع بنود القوانين الموضوعة في تعاملهم مع الكائنات المعدلة جينيًا (١٩، ٤٠).

واستنادا إلى القانون رقم 90/220/EEC ، يجب على الشركات الأوروبية التي تود القيام بتجارب حقلية، باستعمال نباتات معدلة جينيّاً، أن تقدم طلبًا للجهات المختصة. ويجب أن يحتوي الطلب على المعلومات الآتية:

أ. **معلومات عامة** : تشمل اسم الجهة التي ترغب في زراعة المحاصيل المعدلة جينيّاً؛ إضافة إلى أسماء الأشخاص الذين سيتعاملون مع هذه النباتات.

ب. معلومات عن الكائن الحي مَصدَر المادة الجينية:

ـ الاسم العلمي.

ـ الانتشار الجغرافي.

ـ القدرة على التلقيح الخلطي مع نباتات أخرى.

ـ الاستقرار الجيني Genetic stability.

ـ القدرة على الإمراضية Pathogenicity.

ـ السمّيّة Toxicity.

ـ القدرة على إحداث الحساسية Allergenicity.

ـ معلومات عن العائل المستخدم لإدخال المادة الجينية الجديدة إلى النباتات.

ـ طبيعة العائل، ومصدره.

ـ صفات المادة الوراثية للعائل Properties of the DNA sequence.

ج. معلومات عن نباتات المستقبل للمادة الجينية:

ـ وصف للمادة الوراثية، والطرق التي اتبعت لإدخال المادة الجينية إلى النباتات.

ـ معلومات عن مدى قدرة المادة الجينية الجديدة على إحداث التغيير المطلوب داخل النباتات.

ـ وصف للتغيرات الشكلية Phenotype، والجينية Genotype، في النباتات المعدلة جينيّاً؛ مقارنة بالنباتات غير المعدلة جينيًا من الصنف نفسه.

ـ وصف لمدى استقرار Stability الصفات الوراثية الجديدة، وظهورها Expression، في النباتات المعدلة جينيّاً.

ـ معلومات عن سمّيّة المواد الناتجة عن النباتات المعدلة جينيّاً، ومدى قدرة هذه المواد على إحداث الحساسية لدى الإنسان أو الحيوان.

د. معلومات عن الظروف التي سوف تُزرع فيها النباتات المعدلة جينيًا:

ـ الهدف من زراعة النباتات المعدلة جينيًا.

ـ الموعد المقترح للزراعة.

ـ المساحة التي ستُجرى فيها التجربة.

ـ عدد النباتات المعدلة جينيًا التي سوف تستعمل في التجربة.

ـ الطرق الزراعية التي ستتبَع.

ـ الطرق التي ستتبَع للتخلص من النباتات المعدلة جينيًا، إذا اقتضت الحاجة ذلك.

ـ الموقع الجغرافي الذي ستُجرى فيه التجربة.

ـ قرب موقع التجربة من أماكن السكن.

ـ معلومات عن الغطاء النباتي للموقع المقترح.

ـ معلومات عن الكائنات الحية المستهدفة من التجربة، وغير المستهدفة.

ـ معلومات عن العَلاقة Interaction بين النباتات المعدلة جينيًا والبيئة.

ـ صفات النباتات المعدلة جينيًا التي تؤثر على بقائها: تكاثرها أو انتشارها.

هـ. وصف للعلاقة بين النباتات المعدلة جينيًا والبيئة المحيطة بها:

ـ معلومات عن العَلاقة بين النباتات المعدلة جينيًا والبيئة المحيطة بها، مأخوذة من تجارب حقلية سابقة.

ـ معلومات عن إمكانية حدوث انتقال للجينات من النباتات المعدلة جينيًا إلى نباتات أخرى في الحقل.

ـ معلومات عن إمكانية انتشار النباتات المعدلة جينيًا، أو أجزاء منها، إلى حقول أخرى مجاورة.

ـ الطرق المتبعة لضمان الاستقرار الوراثي للنباتات المعدلة جينيًا.

ـ تقرير الآثار السلبية لزراعة النباتات المعدلة جينيًا على الكائنات الحية غير المستهدفة Non-target organisms.

و. معلومات عن الخطط المتبعة لمراقبة النباتات المعدلة جينيًا في الحقل، وطرق التحكم المتبعة في حالة حدوث أي طارئ يوجب التخلص من النباتات:

- الطرق المتبعة لمراقبة النباتات المعدلة جينيّـًا.
- الطرق المستعملة لتعرّف النباتات المعدلة جينيّـًا في الحقل.
- الطرق المستعملة لتعرّف الجينات في حال انتقالها إلى نباتات أخرى في الحقل.

ز. الخطوات المتبعة للسيطرة على الموقع الذي تجري فيه التجارب؛ من حيث:

- منع انتشار النباتات المعدلة جينيًا إلى حقول أخرى مجاورة.
- حماية موقع التجربة منه.
- وصف للخطوات المتبعة للتخلص من بقايا النباتات في الحقل.
- وصف لخطط الطوارئ التي يمكن اللجوء إليها، لإزالة النباتات المعدلة جينيّـًا وإنهاء التجربة في أسرع وقت، إذا اقتضت الحاجة ذلك (٢٢).

٥. القوانين والتشريعات في المملكة المتحدة

تُعَدّ المملكة المتحدة من أكثر الدول الأوروبية تشدداً فيما يتعلق بتداول الكائنات الحية المعدلة جينيّـًا، وآثار هذه الكائنات الحية على صحة الإنسان وعلى البيئة. فقد سنّت الحكومة البريطانية قوانين وأنظمة عدة، لضبط إنتاج الكائنات الحية التي تنتج بهندسة الجينات، وتداولها. وعلى الجهات التي ترغب في التعامل مع هذه الكائنات الحية أن تتقدم بطلب للحكومة البريطانية، ممثلة بدائرة البيئة والنقل Department of Environment, transport and Regions، للحصول على تصريح قانوني تستطيع بموجبه إجراء التجارب العلمية، أو تداول المنتجات التي استعملت في إنتاجها التكنولوجيا الحيوية الحديثة (٩، ١٩، ٢٩، ٤٠). ويجب أن يحتوي الطلب المقدم على المعلومات الآتية:

- معلومات تفصيلية عن الطرق التي اتّبعت في إنتاج الكائنات المعدلة جينيّـًا؛

إضافة إلى معلومات عن الصفات الوراثية الجديدة، التي نتجت عن عملية الهندسة الجينية.

- نتائج شاملة للتجارب التي أجريت، لتقييم الآثار السلبية للكائنات المعدلة جينيًّا على صحة الإنسان وعلى البيئة.

بعد تقديم الطلب، تُحوّل دائرة البيئة والنقل الطلب إلى لجان حكومية استشارية لدراسته بدقة، وتقديم تقرير مفصل حول رأيها فيما يتعلق بالآثار السلبية للكائنات الحية المعدلة جينيًّا، المراد تداولها، على صحة الإنسان وعلى البيئة. فإذا ثبت أن الطلب المقدم لا يتعارض مع قانون حماية البيئة البريطاني Environmental Protection Act 1990، تعطي الدائرة التصريح المطلوب.

وفي بريطانيا خمس لجان استشارية حكومية تقدّم النصح والإرشاد إلى الحكومة البريطانية فيما يتعلق بمنتجات هندسة الجينات. هذه اللجان هي:

- اللجنة الإرشادية المتخصصة بتداول الكائنات الحية المعدلة جينيًّا Advisory Committee on Releases to the Environment (ACRE): تدرس هذه اللجنة الطلبات المقدمة لدائرة البيئة والنقل المتعلقة بتداول هذه الكائنات. وبعد الانتهاء من الدراسة، توجّه اللجنة الإرشادات لدائرة البيئة والنقل، وتساعدها باتخاذ القرار المناسب في شأن الطلبات المقدمة. وحسب ما جاء في التقرير السنوي الخامس لهذه اللجنة، فإنها درست في الفترة بين نيسان/ إبريل ١٩٩٧ وكانون الثاني/ يناير ١٩٩٩ (٣٦) طلبًا قُدّمت إلى دائرة البيئة والنقل، للحصول على تراخيص لتداول الكائنات المعدلة جينيًا.

- اللجنة الإرشادية المتخصصة بعمليات التعديل الجيني Advisory Committee on Genetic Modification (ACGM): من مهمّاتها إعطاء الإرشادات حول الاستعمال الأمثل للكائنات المعدلة جينيًّا في المختبرات العلمية.

- اللجنة الإرشادية للمواد الغذائية والتصنيع الغذائي Advisory Committee on Novel Foods and Processes (ACNFP): تشمل أعضاء من وزارة الزراعة

ووزارة الصحة، وتعطي إرشاداتها لوزارة الزراعة حول سلامة المواد الغذائية التي أنتجت بهندسة الجينات. ومن صلاحيات هذه اللجنة: دراسة الطرق المتبعة في إنتاج المواد الغذائية باستعمال الأساليب والتقنيّات الحديثة؛ ودراسة الطلبات المقدمة لاستعمال بعض الكائنات الحية الدقيقة المعدلة جينيًا طعامًا للإنسان أو للحيوان.

ـ اللجنة الإرشادية لمعالجة الجينات The Gene Therapy Advisory Committee: تدرس الطلبات المقدمة لإجراء التجارب في معالجة الجينات عند الإنسان.

ـ اللجنة الإرشادية للغذاء The Food Advisory Committee: تُعنى بتأشير المواد الغذائية من أصل موادّ معدلة جينيّاً Labeling of genetically modified food. إن تداول المنتجات الزراعية المعدلة جينيّاً وبيعها في بريطانيا يخضع للقانون الأوروبي 19/220/EEC، وللفقْرة الرابعة من قانون حماية البيئة البريطاني لعام ١٩٩٠ (١٧، ١٩، ٢٩، ٢٢).

٦. القوانين والتشريعات في دول شرقي أوروبا ووسطها

تفتقر معظم دول شرقي أوروبا ووسطها إلى التشريعات الخاصة بتنظيم تداول الكائنات الحية المعدلة جينيّاً. وفي الأعوام الأخيرة من القرن العشرين، بدأت بعض الدول، كجمهورية التشيك وبولندا وبلغاريا وهنغاريا، بوضع مثل هذه التشريعات، لمواكبة دول أوروبا الغربية وأمريكا في تنظيم تداول الكائنات الحية المعدلة جينيّاً، ودراسة الأخطار البيئية التي قد تصاحب انتشار هذه الكائنات في البيئة، وأثر ذلك على صحة الإنسان.

أ. هنغاريا

تشتهر هنغاريا بعدد المصانع التي تستخدم التكنولوجيا الحيوية في إنتاج الكثير من

الأدوية؛ إذ بلغ عدد هذه المصانع عام ١٩٩٩ زهاء ١٠٠ مصنع. ويشارك قطاع الصناعات الدوائية في الموازنة العامة للدولة بحوالي ٤,٢ ٪.

بدأ العمل بأول قانون لتنظيم تداول منتجات هندسة الجينات في هنغاريا في الأول من كانون الثاني/ يناير عام ١٩٩٩ . ووضع هذا القانون بعد الرجوع إلى قانون الاتحاد الأوروبي رقم ٢١٩/ ٩٠ ورقم ٢٢٠/ ٩٠ . وسمي قانون تكنولوجيا الجين Gene Technology Law (Act XXVII). ومن بنوده:

- على جميع المختبرات العلمية التي تُجرى فيها تجارب باستعمال كائنات حية معدلة جينيًا أن تكون مرخصة من الحكومة الهنغارية.

- يجب إجراء دراسة علمية حول الأخطار المترتبة على تداول الكائنات المعدلة جينيًا، قبل البدء بإجراء التجارب عليها.

- يجب تسجيل جميع الكائنات الحية المعدلة جينيًّا، التي دخلت في إنتاجها التقنيات الحيوية في مجال هندسة الجينات، لدى السلطات الحكومية.

- على المواد الغذائية التي دخل في إنتاجها كائنات معدلة جينيًّا أن يَجري تأشيرها قبل البدء في بيعها.

وفي هنغاريا لَجْنة حكومية متخصصة لدراسة جميع الطلبات المقدمة للحكومة، من أجل الحصول على تصاريح للتعامل مع الكائنات المعدلة جينيًّا. وأعضاء هذه اللجنة هم علماء في مختلف التخصصات العلمية؛ إضافة إلى ممثلين عن القطاع الصناعي، وأفراد من عامة الشعب لديهم اهتمامات خاصة بهندسة الجينات (١٢).

ب. بلغاريا

يوجد في بلغاريا قانون خاص بتداول النباتات التي تُنتَج باستخدام تكنولوجيا DNA المعاد تركيبه. وضع هذا القانون بناءً على بنود قانون الاتحاد الأوروبي رقم ٢٢٠/ ٩٠، الخاص بتداول النباتات المعدلة جينيًّا. ومن شروط هذا القانون أن يكون

الأشخاص الذين يودون القيام بالتجارب الحقلية مرخصين من الحكومة. وقد شكلت الحكومة البلغارية في أواخر القرن العشرين لجنة خاصة سميت لجنة تداول الجينات Bulgaria's Gene Release Body، لتقوم بالمهمّات الآتية:

- إصدار التصاريح الخاصة بإجراء التجارب الحقلية.

- الاحتفاظ بسجلات تبين البحوث العلمية التي أجريت على النباتات المعدلة جينيًا، والجهات التي سوقت منتجات هذه النباتات.

- تقييم الآثار والأخطار البيئية الناتجة عن تداول النباتات المعدلة جينيّـًا.

- تقييم فعالية الإجراءات الوقائية المتبعة عند تداول النباتات المعدلة جينيّـًا.

- التأكد من تطبيق جميع الشروط الواردة في القانون، والمتعلقة بتداول النباتات المعدلة جينيًّا.

- للجنة الصلاحيات القانونية بإتلاف الحقول المزروعة بالنباتات المعدلة جينيًا، إذا تبين لها أن الجهات القائمة على هذه التجارب خالفت القوانين المعمول بها.

- تقدم اللجنة تقريرا سنويا لوزارة الزراعة البلغارية حول عدد التجارب الحقلية التي أجريت (١٢).

ج. جمهورية التشيك

شكلّت وزارة البيئة التشيكية في بداية عام ١٩٩٠ لجنة إرشادية سميت اللجنة الإرشادية للنباتات المعدّلة جينيّـًا Czech Advisory Committee for Transgenic Plants (CACTP). تدرس هذه اللجنة الطلبات المقدمة لوزارة البيئة من الشركات الزراعية التي ترغب في إجراء تجارب حقلية باستعمال نباتات معدلة جينيّـًا. وهي تعتمد على قانون الاتحاد الأوروبي رقم ٢١٩/ ٩٠ورقم ٢٢٠/ ٩٠ في اتخاذ قراراتها. وأرجعت اللجنة منذ إنشائها ١٤ طلبًا قدمت للحصول على تصاريح لإجراء تجارب حقلية باستعمال نباتات معدلة جينيًّا، مثل البطاطا وقصب السكر والدخان. كما يوجد في جمهورية التشيك قانون لتنظيم تداول بذور النباتات المعدلة جينيّـًا. ويعرف

هذا باسم قانون البذور والبادرات والأصناف Law on Seeds, Seedlings and Cultivars. وقد أقرّ البرلمان التشيكي في السابع من حزيران/ يونيو عام ١٩٩٩ قانونًا عامًا لتداول الكائنات الحية المعدلة جينيًا (١٢، ٢٨).

د. پولندا

في شهر حزيران / يونيو من عام ١٩٩٦، شكّلت الحكومة الپولندية لجنة من الخبراء في مختلف مجالات العلوم لوضع قانون ينظّم تداول الكائنات، ولدراسة الطلبات المقدمة لإجراء تجارب علمية على هذه الكائنات المعدلة جينيّا. ووضعت هذه اللجنة في شباط/ فبراير ١٩٩٧ الخطوط العريضة للإجراءات التي يجب اتباعها للحصول على تصريح من الحكومة، تُجري بموجبه الشركات الخاصة التجارب على هذه الكائنات. وفي شهر تشرين الثاني/ نوڤمبر من العام نفسه، وُضع قانون سمي قانون الجين، استنادًا إلى القانون الأوروبي رقم ٢١٩/ ٩٠ ورقم ٢٢٠/ ٩٠. وأقرّ في شهر كانون الثاني/ يناير من عام ١٩٩٩ قانون جديد لحماية البيئة يُعنى بتأشير الكائنات الحية المعدلة جينيّا، وتداولها، وتسويقها. ويعطي هذا القانون الصلاحية لوزارة الزراعة الپولندية ووزارة البيئة والصحة بمراقبة جميع الأنشطة التي تتعلق بتداول هذه الكائنات.

٧. القوانين والتشريعات في أستراليا

الجهة الرسمية المسؤولة عن تنظيم التعامل مع منتجات هندسة الجينات في أستراليا هي اللجنة الارشادية للتعامل بالجينات Genetic Manipulation Advisory Committee. وتنبثق عن هذه اللجنة أربع لجان فَرْعية، هي:

ـ اللجنة العلمية: تتكون من باحثين في مجال العلوم الحياتية الجزيئية. ومن مهمّاتها: الاطلاع على التجارب العلمية على نطاق المختبرات، وتقديم نصائح إرشادية على المستوى الجزيئي في مختلف المراحل المستخدَمة لإنتاج الكائنات المعدلة جينيّا.

ـ لجنة المقاييس الكبيرة: تُعنى هذه اللجنة بالتعامل مع الكائنات الحية الدقيقة التي يزيد حجمها على ١٠ ميكرومتر.

ـ لجنة الإطلاق (أو الانتشار): تختص هذه اللجنة بالكائنات الحية التي سوف تطلق إلى البيئة.

ـ لجنة الجمهور: توفّر هذه اللجنة المعلومات إلى عامة الشعب حول عمل اللجنة الإرشادية للتعامل بالجينات.

علاوة على هذه اللجان الحكومية، يوجد في كل معهد بحوث لجنة للحماية البيولوجية Institutional Biosafety Committee، تُرشد العاملين في هذه المعاهد، وتراقب التجارب العلمية التي تُجرى باستعمال هندسة الجينات.

ومثل سائر الدول المنتجة للكائنات المعدلة جينيّاً، فإن الشركات ومراكز البحوث الأسترالية لا تستطيع إطلاق الكائنات المعدلة جينيا إلى البيئة إلا بعد الحصول على موافقة اللجنة الإرشادية للتعامل بالجينات. وتأخذ هذه اللجنة عوامل عدة في الحسبان، قبل إعطاء الموافقة لإطلاق هذه الكائنات. ومن بين الأمور التي تنظر إليها اللجنة ما يأتي:

ـ المسوِّغات لاستعمال منتجات هندسة الجينات.

ـ طبيعة الكائن الحي المستقبِل للمادة الجينية الجديدة.

ـ مصدر المادة الجينية التي استخدمت في التجارب، وصفاتها.

ـ استقرارية الكائن الحي المنتَج.

ـ تأثير الكائن الحي المنتج على كل من الإنسان والنباتات والحيوانات، والكائنات الحية الأخرى الموجودة في الطبيعة.

ـ احتمالية التلقيح الخلطي مع كائنات حية أخرى.

ـ احتمالية انتشار الكائن المعدل جينيًا بشكل لا يمكن السيطرة عليه.

ـ معلومات عن المتبقيات السامة لمنتجات هندسة الجينات.

ـ الطرق المتبعة لمراقبة الكائنات المعدلة جينيًا بعد إطلاقها.

ـ الطرق المتبعة في الحالات الطارئة للتخلص من الكائنات الحية المعدلة جينيًّا (١٨).

٨. القوانين والتشريعات في كندا

تقييم التأثيرات الصحية للأحياء الدقيقة تحت قانون حماية البيئة الكندي/ الاعتبارات الخاصة باستخدام بكتيريا سالبة الغرام (٣٩):

تنهض وزارة الصحة الكندية بتطوير مجموعة من المتطلبات، التي سوف تسمح بتقييم أولي كافٍ للتأثيرات الصحية المحتملة للأحياء الدقيقة، المستخدمة كمنتجات تكنولوجيا حيوية جديدة. وتأتي هذه المتطلبات ضمن إطار قانون حماية البيئة الكندي.

إن المتطلبات الأساسية، التي هي تحت المراجعة فيما يتعلق بتقييم مصادر الخطر، تناولها هذا القانون بالتفصيل فيما يتعلق بـ:

ـ التعريف حتى مستوى النوع.

ـ تاريخ السلالة المستخدمة.

ـ توثيق اشتراك الميكروب في التأثيرات الضارة لصحة الإنسان.

ـ نتائج الاختبارات للكائنات التي اشتركت في تأثيرات صحية ضارة لصحة الإنسان؛ باستخدام:

ـ الاختبارات المناسبة؛

ـ تقارير عن التفاعلات المناعية المعاكسة؛

ـ نتائج اختبارات الحساسية للمضادات الحيوية.

يعتمد تقييم التعرُّض الأولي للمواد التي تطلقها بكتيريا سالبة الغرام على تقدير عدد الأشخاص المتعرضين لهذه المواد، ومستوى تعرضهم للأحياء الدقيقة في أثناء الاستعمال، والثبات المتوقع للميكروبات في البيئة بعد الاستعمال.

ويحتاج استعمال بكتيريا سالبة الغرام في التكنولوجيا الحيوية إلى اختبارات إضافية لتقييم مدى تعرض الجهاز التنفسي للسموم الداخلية التي تفرزها مثل هذه البكتيريا، ولمكوّنات جدار الخلية البكتيرية الدهنية المتعددة السكريات. فتعرّض الجهاز التنفسي للسموم الداخلية مرتبط باستجابة محفزة للالتهابات، وينتج عنها انخفاض في أداء وظائف الرئة. كذلك، فإنّ صفات بعض بكتيريا سالبة الغرام قد تدفع إلى طلب المزيد من المعلومات. وهذه الصفات تشمل النوع المستخدم، والتراكيز المتوقعة لكل من البكتيريا الحية والميتة، وحجم الجزيئات التي تتولد خلال الاستخدام. وقد طُوّرت «التشريعات الإبلاغية للمواد الجديدة الخاصة بمنتجات التكنولوجيا الحيوية»، تحت قانون حماية البيئة الكندي. هذه التشريعات وُضعت لإجراء تقييم أولي فعّال لمنتجات التكنولوجيا الحيوية قبل تصنيعها في كندا، أو استيرادها إليها. فإذا كانت نتائج التقييم الأوّلي غير حاسمة فيما يتعلّق بالسمّيّة، فإن باستطاعة الحكومة طلب المزيد من المعلومات أو وضع نظام رقابة معين. ويحتوي قانون حماية البيئة الكندي على التعريف بالمواد السامّة؛ وهو فريد من نوعه في مثل هذه التشريعات:

تُعدّ المواد سامّة، إذا كانت تدخل البيئة (أو قد تدخلها) بكميات أو تراكيز معينة؛ أو تحت أحد الشروط الآتية:

- أن يكون، أو قد يكون، لها تأثيرات ضارّة طويلة المدى، أو متوسّطة المدى، على البيئة.
- أن تشكّل، أو قد تشكّل، خطورة على البيئة التي تعتمد عليها حياة الإنسان.
- أن تشكّل، أو قد تشكّل، خطورة في كندا على حياة الإنسان وصحّته.

هذه التشريعات تُغطي أي منتَج تكنولوجيا حيوية لم يُقيَّم من حيث سميّته، تحت أي تشريعات أخرى. ويشمل نوع المنتجات، التي يحتمل أن يطلب توضيحات عنها، الميكروبات المستخدمة في المعالجة الحيوية، والتعدين الحيوي، ومنظفات مصارف المياه، والمواد المضافة لتعقيم الخزّانات. هذا إضافة إلى منتجات التكنولوجيا الحيوية؛ كالكيميائيات الحيوية، والبوليمرات الحيوية.

ماذا تعني هذه التشريعات لصناعة التكنولوجيا الحيوية، أو للأشخاص المصنعين أو المستوردين أو المطورين لمنتجات التكنولوجيا الحيوية، في كندا؟

الجواب: إن أي شركة تعتزم تصنيع أو استيراد ميكروب معين، أو منتج منه، سواء كان طبيعيًا أو مُهَندَسًا جينيًا، يجب أن تزوّد وزارة الصحة الكندية بمجموعة من المعلومات ليُقيَّم قبل إجراء أيّ عملية. والحقّ أنّ هذه التشريعات هي محاولة لإحراز توازن في المعلومات؛ بحيث تكون كافية لعمل تقييم، لحماية صحة الإنسان وبيئته، من دون أن تضع أيّ أعباء ترهق الصناعة وتفسدها.

وعلاوةً على التشريعات، فإن قسم التكنولوجيا الحيوية التابع لوزارة الصحة الكندية يصدر نشرات إرشادية، ويضع معايير تُطوّر من عملية التقييم.

وتختلف المعلومات التي قد تُطلب من المنتِج باختلاف طبيعة الاستخدام، الذي يتراوح من استخدام محدود وضيق إلى الإطلاق المفتوح على البيئة. وهذه المعلومات يجب أن تكون متوافرة لدى الشركة المنتِجة، نتيجة لعملية تطوير المنتَج واختبار الفاعلية.

ويبين الجدول (٥) المعلومات المطلوبة من الشركات المعنيّة، التي نشرت في تموز/ يوليو ١٩٩٣، في نشرة تشريعات المواد الجديدة من منتجات التكنولوجيا الحيوية.

الجدول (٥) : المعلومات التي تطلب من الشركة المصنعة لمنتجات التكنولوجيا الحيوية.

١ . أ. تعريف الميكروب .
ب . جميع الأسماء .
ج . تاريخ السلالة .
د. وصف التعديلات التي أجريت على السلالة .
هـ. طرق تمييز الميكروب وتشخيصه .
٢ . الاستخدامات المقررة له، وطرق استعماله، وكيفية التأثير Mode of action .
٣ . معلومات التجهيز Formulation :
أ. الحالة الفيزيائية .
ب. وجود مكوّنات أخرى .
ج . الحالة الحيوية، وتوصيات الإتلاف .
٤ . الخصائص الحيوية والبيئية للميكروب :
أ. دورة الحياة .
ب. متطلبات النمو، والبقاء، والتكاثر .
ج . اختبارات إنتاج السموم، وما إذا كان إنتاج السم مسجلاً في أنواع قريبة Related species .
٥ . وجود أي مساهمة في التأثيرات غير الملائمة لصحة الإنسان .
٦ . أخذ قراءات من اختبارات مقاومة المضادات الحيوية .
٧ . الكميات المقررة لها في الهواء، والماء، والتربة .
٨ . العدد المقرر للأشخاص المتعرضين لها، ودرجة التعرض .
٩ . قراءات من اختبارات الإمراضية Pathogenicity المتوافرة عن الميكروب .
١٠ . التفاعل المناعي المعاكس في الأشخاص .
١١ . المعلومات التصنيعية الآتية :
أ. طريقة التصنيع .
ب . الكمية المصنعة .
ج . وصف الملوثات وتركيزها .
د. طرق التحكم بالنوعية وضمانها .
هـ. مكان التصنيع .
و . طبيعة المواد المتحررة المتوقعة، والتحكم بها .
ز . معاملة الفضلات والتخلص منها .
١٢ . نتائج الاختبارات ذات العلاقة الوثيقة بمخاطر صحة الإنسان والبيئة .
١٣ . بيان الهيئات الحكومية التي أعلمت عن تصنيع كائنات حية دقيقة، أو استيرادها؛ وسبب إعلامها بذلك .

لقد صُمّمت البيانات المطلوبة لإعطاء معلومات وثيقة الصلة بالموضوع عن عنصرَيْ تقييم المخاطر Risk assessment؛ وهما: تعريف المخاطر Hazard identification وتقييم التعرّض Exposure assessment. فالبنود (١، ٣، ٤، ٥، ٦، ٩، ١٠، ١٢) تزوّدنا بمعلومات عن تعريف المخاطر. أما البنود (٢، ٧، ٨، ١١)، فتزوّدنا بمعلومات عن تقييم التعرّض؛ في حين أن البند (١٣) يزوّدنا بمعلومات إضافية، لكن من دون أن يقدم مقدّم الطلب الوثائق نفسها التي كان قد قدّمها لوكالات التقييم الأخرى.

وترتكز جميع المعلومات على تعريف الميكروب حتى مستوى النوع (البند ١). وفي حالة أن السلالة مُمرضة، فإنّه من الضروري تقديم المزيد من المعلومات المفصّلة. فالتعريف الدقيق سَوف يمكّن المنتج من استخدام البيانات الموجودة مصدراً للمعلومات، لتعبئة أيّة معلومة إضافيةٍ قد تُطلب منه.

وإذا كانت حزمة المعلومات كاملة، بحيث إن المعلومات المعطاة مُطَمئنَة وتُزيل أيّ شكوك عن إمكانية أن يكون المنتَج سامًا، عندها يسمح باستيراد المنتج التكنولوجي الحيوي أو تصنيعه؛ وذلك بعد انتهاء فترة التقييم التي تُحدّد في التشريعات. أمّا إذا كان التقييم الأوّلي يلمّح بالشكوك حول إمكانية أن يكون المنتَج سامًا، فعندها يسمح القانون لوزارتيّ الصحّة والبيئة بطلب المزيد من المعلومات عن المنتَج من صاحبه. وخير مثال على ذلك استخدام أنواع معينة من بكتيريا سالبة الغرام. فالمنتجات التكنولوجية الحيوية لهذه البكتيريا قد تكون لها تأثيرات متعددة غير ملائمة للصحّة؛ نتيجة للتعرّض للسموم الداخلية، أو لمكوّنات جدار الخليّة الدهنية المتعددة السكريات. وتختلف الاستجابة الحيوية للسموم الداخلية باختلاف الجرعة، ومصدر السم، وطريقة التعرّض. فاستنشاق ما مقداره ٣٠-٥٠ نانوغرامًا من السموم الداخلية يمكن أن ينتج عنه هبوط في وظائف الرئة. كذلك، يمكن أن ينتج من استنشاق السموم الداخلية تحفيز تأثيرات عكسية متنوعة؛ كالحُمّى، والقشعريرة، والوعكة الصحيّة، وألم في المفاصل والعضلات، وضيق في الصدر. ولا تختلف السموم الداخلية باختلاف النوع فقط؛ بل أيضًا باختلاف السلالة في النوع نفسه، وباختلاف طريقة تحضير العينة للسلالة نفسها.

وقد جُمعت السموم الداخلية وصُنّفت، من حيث مقارنةُ قوّة الفعالية، لعدد من بكتيريا سالبة الغرام؛ ثمّ رُتّبت بناءً على قراءات دراسات سابقة، كما في الجدول (٦).

وبشكل عام، فإن السموم الداخلية من بكتيريا عائلة Enterobacteriaceae تُحفّز استجابة حيوية أقوى من باقي بكتيريا سالبة الغرام؛ ما يعني أنّ بكتيريا هذه العائلة يجب أن تُعطى اختبارات أكثر، خصوصاً إذا كان المنوي استخدامها بطريقة تولُّد الهباء الجوي Aerosols.

وتشمل المعلومات المطلوبة عن منتجات التكنولوجيا الحيوية، تحت قانون حماية البيئة الكندي، «الكميّات التقديريّة للميكروب في الهواء والماء والتربة في لحظة إدخال الميكروب»؛ (البند ٧)؛ بحيث يستفيد خبراء وزارة الصحّة الكندية من هذه المعلومات في تحديد ما إذا تجاوز مستوى البكتيريا سالبة الغرام، الموجودة في الهواء، مستويات الاهتمام الصحّي بفعل تنفُّس السموم الداخلية. ولعمل ذلك، يجب اشتقاق عَلاقة بين عدد بكتيريا سالبة الغرام وتركيز السموم الداخلية.

خلاصة القول أنه، إضافة إلى تركيز الخلايا، فإن معاييرَ أخرى بحاجة إلى تقييم؛ مثل حجم الجزيء (البند ٣)، و تعريف البكتيريا (البند ١). كما أنّ الاهتمام الأكبر يجب أن يتركز على الاستخدام المقرّر لبكتيريا سالبة الغرام لعائلة Enterobacteriaceae، بحيث لا تنتج أكثر من ($10\ CFU/\ m^3$)؛ خصوصاً إذا كان حجم الجزيء يقع ضمن المدى القادر على النفاذ إلى الرئة؛ أي أن قطره أقل من 5 µm.

الجدول (٦)

تصنيف السموم الداخلية؛ من حيث مقارنة قوّة الفعالية لعدد من بكتيريا سالبة الغرام.

نوع البكتيريا	قوّة الفعالية
Salmonella typhosa (typhi) *	مرتفعة
Salmonella typhimurium*	↓
Enterobacter agglomerans* +	
Citrobacter freundii*	
Flavobacterium sp.	
Pseudomonas putida	
Klibsiela oxytoca*	
Erwinia herbicola* +	
Escherichia coli B *	
Enterobacter cloacae*	
Enterobacter sp.*	
Klebsiela sp.*	
Acinetobacter calcoaceticus	
Alcaligenes faecalis	
Veillonella alcalescens	
Escherichia coli K*	
Pseudomonas sp.	
Xanthomonas sinensis	
Agribacteria	منخفضة

* من العائلة Enterobacteriaceae.

+ أعيد تسميتها Enterobacter agglomerans.

خاتمـــة

مع الدخول إلى القرن الحادي والعشرين، ازداد اهتمام الكثير من الدول النامية بالتكنولوجيا الحيوية في مختلف مجالات العلوم التطبيقية. إلا أن هذا الاهتمام جاء متأخرا بعض الشيء، إذا قورن بالتطور الهائل في معظم الدول المتقدمة؛ الأمر الذي يتطلب بذل الكثير من الجهود للاستفادة من خبرات هذه الدول في مختلف مجالات التكنولوجيا الحيوية.

إن وضع الأنظمة والقوانين المناسبة لتنظيم تداول منتجات التكنولوجيا الحيوية في الدول النامية غاية في الأهميّة. ولتجنب الآثار السلبية التي قد تصاحب إدخال هذه التكنولوجيا، يجب توفير الدعم المادي الكافي للعلماء في هذه الدول لإجراء التجارب المخبرية والحقلية، لتقصي الآثار السلبية لمنتجات التكنولوجيا الحيوية على كل من الإنسان والحيوان والبيئة.

الخلاصة

تؤدي الكائنات الحية الدقيقة دوراً مهمّاً ومميزاً في التطبيقات العملية الحيوية. وقد عرف الإنسان منذ القدم أهمية هذه الكائنات في إنتاج طعامه وشرابه. وساعدت الاكتشافات العلمية عبر العصور في تعرّف المزايا المتعدّدة التي تتمتع بها هذه الكائنات. هذا الأمر ساعد على الاستغلال الأمثل للكائنات الحية الدقيقة في حل عدد كبير من المشكلات التي كانت تواجه الإنسان في مختلف المجالات. فعلى سبيل المثال، أصبحت هذه الكائنات تستخدم في مجالات صناعية عدة، مثل إنتاج الطاقة وصناعة الإنزيمات واللقاحات والأمصال؛ إضافة إلى الكثير من المواد الضرورية المستخدمة في الصناعات الدوائية والمستحضرات الطبية. وباستعمال أنواع محدّدة من الكائنات الحية الدقيقة، بات بالإمكان إنتاج أنواع معينة من الأدوية كان من الصعب إنتاجها. وأفضل مثال على ذلك إنتاج مادة الإنسولين لعلاج مرضى السكري بطرق بسيطة وغير مكلفة، باستخدام أنواع معينة من البكتيريا.

أما في المجال الزراعي، فتستخدم الآن الكائنات الحية الدقيقة، أو أجزاء منها، في إنتاج نباتات معدلة جينيًّا تتمتع بصفات معينة؛ ومن ثمّ تستعمل لحل مشكلات تواجه هذا القطاع. وتُعدّ النباتات المعدلة جينيًا والمقاومة للأمراض النباتية، أو الإصابة بالحشرات، من أهم إنجازات هندسة الجينات في مجال الزراعة. إضافة إلى ذلك، من المتوقع أن تنهض التكنولوجيا الحيوية بدور مهمّ في التخفيف من حدة سوء التغذية في العالم، بإنتاج نباتات تحتوي على نسب عالية من البروتينات والڤيتامينات الضرورية لنمو الإنسان. وفي هذا المجال، نجح عدد من الشركات العالمية المتخصصة بالتكنولوجيا الحيوية في إنتاج نباتات ـ مثل الأرز ـ ذات قيمة غذائية عالية استعمل في إنتاجها كائنات حية معدلة جينيًّا.

وللحد من الآثار السلبية، التي قد تصاحب استهلاك منتجات التكنولوجيا الحيوية، وضعت كثير من الدول المتقدمة أنظمة وقوانين، مبنية على بحوث وتجارب علمية، تضبط عملية إنتاج المواد التي استعملت في إنتاجها تكنولوجيا هندسة الجينات. ولإعطاء حرية الاختيار لمواطنيها، قامت الدول المنتجة للمواد الغذائية المعدلة وراثيًا بتأشير المنتجات الغذائية، التي استعمل في إنتاجها التكنولوجيات الحيوية الحديثة.

المراجـــع

١. أحمد مستجير، ١٩٩٨. **البيوتكنولوجيا في الطب والزراعة**. المكتبة الأكاديمية ـ القاهرة ـ مصر؛ ١٢٦ ص.

٢. إدوارد يوكسين، ترجمة أحمد مستجير، ١٩٨٥. **صناعة الحياة: من يتحكم في البيوتكنولوجيا؟**. دار غريب للطباعة ـ القاهرة ـ مصر؛ ٢٥٧ص.

٣. جون سميث، ترجمة عبد العزيز أبو زنادة، ١٩٨٧. **أساسيات التقنية الأحيائية**. عمادة شؤون المكتبات، جامعة الملك سعود ـ الرياض ـ السعودية؛ ٢١٦ص.

٤. الجمعية الطبية البريطانية، ترجمة مصطفى إبراهيم فهمي، ١٩٩٥. **مستقبلنا الوراثي (علم التكنولوجيا الوراثية وأخلاقياته)**. المكتبة الأكاديمية ـ القاهرة ـ مصر؛ ٣٠٩ ص.

٥. عبد الكريم السلال، وعبد الرزاق تقي الدين، ١٩٩٨. **الأحياء الدقيقة**. جامعة القدس المفتوحة ـ عمّان ـ الأردن؛ ٤٣٦ص.

٦. رعد البصام، ١٩٩٦. **التقنية الحياتية**. دار الكندي للنشر والتوزيع ـ إربد ـ الأردن؛ ١٤١ص.

٧. زيدان السيد عبد العال، ١٩٩٧. **التكنولوجيا الحيوية وآفاق القرن الحادي العشرين**. شركة منشأة المعارف بالإسكندرية ـ مصر؛ ٣١١ص.

٨. يوسف العمري، مي صادق، محمود قصراوي، عائدة وصفي عبد الهادي، ١٩٩٦. **الوراثة وعلم الحياة الجزيئي**. منشورات جامعة القدس المفتوحة ـ عمّان ـ الأردن؛ ٣٤٠ص.

9. Anonymous. 2000 (A). The Benefits. In: *Food for our future, food and biotechnology*. The Food and Drink Federation, London. pp. 9 -17.

10. Anonymous. 2000 (B). The Concerns. In: *Food for our future, food and biotechnology*. The Food and Drink Federation, London. pp. 18 - 25.

11. Anonymous. 2000 (C). *Genetically engineered food could be lifeline for developing world*. The Life Sciences Knowledge Center, Cornell University News Service, USA.

12. Anonymous (A). 1999. *Biotechnology Legislation in Central and Eastern Europe*. Briefing paper No. 9. European Federation of Biotechnology, Task group on public perceptions of Biotechnology, London.

13. Anonymous (B). 1999. *Update on Bt corn and other new technology*. Special report. Economic Research Service / USDA. *Feed Yearbook* / FDS. USA.

14. Anonymous (C). 1999. What are GM crops? In: *GM crops and the environment: benefits and risks*. The Food and Drink Federation, London. pp. 3 - 4.

15- Anonymous (D). 1999. The Risk. In: *GM crops and the environment: benefits and risks*. The Food and Drink Federation, London. pp. 12 - 19.

16. Anonymous (E). 1999. The Benefits. In: *GM crops and the environment: benefits and risks*. The Food and Drink Federation, London. pp. 8 - 10..

17.Anonymous (M): 1999. The Concerns. In: *GM crops and the environment: benefits and risks*. The Food and Drink Federation, London. pp. 18 - 25.

18. Anonymous (N): 1999. *Regulation of genetic engineering*. No. 7. Australian Biotechnology Association. Australia.

19. Anonymous. 1998. The commercial use of genetically modified crops in the United Kingdom: the potential wider impact on farmland wildlife. In: Advisory committee on releases to the environment. *Annual Report No. 5*, Department of the Environment, Transport and the Regions, London. pp. 15 - 32.

20. Anonymous (F). 1997, Regulation 258/97 of the European Parliament and of the Council of 27 January 1997 concerning novel foods and novel food ingredients. *Official Journal of the European Communities*, No. L 43/1.

21. Anonymous. 1996. *Biotechnology in plant agriculture: more for less*. No. 3. Australian Biotechnology Association, Australia.

22. Allison, R. 1995. RNA Plant Virus Recombination. USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland, USA.

23. Barnum, S. R. 1998. *Biotechnology: An Introduction*. Wadsworth. Publishing Company, Canada. pp. 1-70.

24. Baulcombe, D. C., Hamilton, W. D. O., Mayo, M. A., and Harrison, B. D. 1987. *Plant Resistance to Viruses*. Wiley, Chichester, UK. pp. 170-177.

25. Beachy, R. N., Powell Abel, P., Nelson, R. S., Register, J., Turner, N., and Fraley, R. T. 1987. Genetic engineering of plants for protection against virus diseases. In: *Plant Resistance to Viruses*. Wiley, Chichester, UK. pp. 151-158.

26. Bowman, V. V. 1995. Viral Synergism. USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland, USA.

27. Carrington, J. C. 1995. Transgenic Complementation.. USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland,USA.

28. Council Directive on the contained use of genetically modified microorganisms. 1990, 90/219/EEC.

29. Connett, J. A. and Barfoot, P. D. 1992. The development of genetically modified varieties of agricultural crops by the seed industry. In: *Plant genetic manipulation for crop protection.* Gatehouse, A. M. R., Hilder, V. A., Boulter, D. (eds). C. A. B. International. Oxon, UK, pp. 45 - 73.

30. Damen, V., Adley, C., Brinkman, F., Hammelev, D., Johansson, M., and van Strydonk, M. 1997. *Transgenic plants.* European Initiative for Biotechnology Education, unit 9.

31. Dale, P. J., and Kinderlerer, J. 1995. Safety in contained use and the environmental release of transgenic crop plants. In: *Genetically modified organisms: a guide to biosafety,* Tzotzos, G. T. (eds.), CAB International. Oxon, UK. pp. 36-63.

32. Dougherty, W. G. 1995. RNA-Mediated Transgenic Virus Resistance. USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland, USA.

33. Erickson F. L., and Lemaux, P. G. 2000. Issues related to the development and use of engineered herbicide-tolerant crops in California. California Weed Science Conference, CA, USA.

34. Grumet, R. 1995. Coat protein-mediated virus resistance in plants. USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland. USA.

35. Hilder, V. A., and Boulter, D. 1999. Genetic engineering of crop plants for insect resistance: a critical review. Crop Protection 18: 177- 191.

36. Katzek, J. 1997. How can biotechnology benefit the environment? In: *Report of a workshop organized by the European Federation of Biotechnology,* Task group on public perceptions of Biotechnology / The Green Alliance on 13 January 1997 at the Science Museum in London. pp. 7 - 9.

37. Lemaux, P. G. 1999. Genetically engineered Rice Varieties: What issues do they raise? Annual Rice Growers Meeting, Colusa and Yuba, CA, USA.

38. Lemaux, P. G. 2000. What's out there in terms of genetically engineered crop plants and what's likely to be coming in the future? Agronomy continuing conference, Davis, CA, USA.

39. Maus, K.L. 1996. Assessment of Health Effects of Microorganisms under the Canadian Environmental Protection Act: Special Considerations for the Environmental Use of Gram-Negative Bacteria. In: *Environmental Biotechnology: Principles and Applications*. Edited by Moo-Young, M., W. Anderson, and A. Chakrabarty. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. pp. 750-760.

40. Miller, M.C., and Powell, W. 1994. A commercial view of biotechnology in crop protection. In: *Molecular Biology in Crop Protection*. Marshall, G., Walters, D. (eds.), Chapman and Hall, London. pp. 225 - 245.

41. Mullineaux, P. M. 1992. Genetically engineered plants for herbicide resistance. In: *Plant genetic manipulation for crop protection*. Gatehouse, A. M. R., Hilder, V. A., Boulter, D. (eds). C. A. B. International. Oxon, UK. pp. 75 - 107.

42. Munkvold, G. P., and Hellmich, R.L. 1999. *Genetically modified, insect-resistant corn: implications for disease management*. American Phytopathological Society. MN, USA.

43. Nickson, T. E., and Fuchs, R. L. 1994. Environmental and regulatory aspects of using genetically-modified plants in the field. In: *Molecular Biology in Crop Protection*. Marshall, G., Walters, D. (eds.). Chapman and Hall, London. pp. 246 - 262.

44. Oku, H. 1994. Biotechnology for plant disease control. In: *Plant pathogenesis and disease control*. Lewis Publications, Florida. pp. 163 - 178.

45. Peferoen, M. 1992. Engineering of insect-resistant plants with Bacillus thuringiensis crystal protein genes. In: *Plant genetic manipulation for crop protection*. Gatehouse, A. M. R., Hilder, V. A., Boulter, D. (eds.). C. A. B. International. Oxon, UK. pp. 135 - 181.

46. Reavy, B., and Mayo, M. A. 1992. Genetic engineering of virus resistance. In: *Plant genetic manipulation for crop protection.* Gatehouse, A. M. R., Hilder, V. A., Boulter, D. (eds.). C. A. B. International. Oxon, UK. pp. 183-214.

47. Ruttan, V. W. 1999. Biotechnology and agriculture: a skeptical perspective. *AgBioForum* 2: 54 - 60.

48. Thomas, S. 1998. *Genetically modified crops: the social and ethical issues.* Nuffield Council on Bioethics. Consultation Document. UK.

49. Thompson L. 2000. *Are bioengineered foods safe?* US Food and Drug Administration, FDA consumer. USA.

50. Thompson L. 2000. *Agricultural Biotechnology: its past and future.* Asilomar 25th Anniversary Meeting, Pacific Grove, CA, USA.

51. Toet, D.A. 1992. Effect of rDNA Technology on the Safety Requirements for Enzyme Production and Preparations. International Symposium on the Biosafety Results of Genetically Modified Plants and Microorganisms. Goslar, Germany. pp. 201-203.

52. Ward, E., Uknes, S., and Ryals, J. 1994. Molecular biology and genetic engineering to improve plant disease resistance. In: *Molecular Biology in Crop Protection.* Marshall, G., Walters, D. (eds.). Chapman and Hall, London. pp. 119 - 222.

53. Way, M.J., and van Emden, H. F. 2000. Integrated pest management in practice: pathways towards successful application. *Crop Protection* 19: 81 - 103.

54. Woolhouse, H. W. 1992. Promoting crop protection by genetic engineering and conventional plant breeding: problems and prospects. In: *Plant genetic manipulation for crop protection.* Gatehouse, A. M. R., Hilder, V. A., Boulter, D. (eds.). C. A. B. International, Oxon, UK. pp. 249 - 256.

55. Zaitlin, M. 1995. *Replicase-Mediated Resistance.* USDA-APHIS Workshop, Transgenic Virus-Resistant Plants and New Plant Viruses. Maryland, USA.



المساهِمون في هذا المجلّد



المساهمون في هذا المجلّد

الكتّاب

أ. د. عبد المجيد نصير

أستاذ الرياضيّات في جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنيّة. حصل على الدكتوراة في الرياضيات التطبيقيّة من جامعة براون ، في الولايات المتحدة الأمريكيّة، عام ١٩٦٩. شارك في الكثير من المؤتمرات في مجال تخصصه، وله عدد من المؤلفات؛ إضافة إلى عشرات المقالات في مجلاّت علميّة مختلفة. وهو عضو عامل في مجمع اللغة العربية الأردني، وعضو هيئة تحرير في مجلّة المجمع، ورئيس الجمعيّة الأردنيّة لتاريخ العلوم. كما أنّه شاعر.

أ. د. طالب أبو شرار

حائز على جائزة عبد الحميد شومان للعلماء العرب الشبان في الزراعة عام ١٩٨٨. حصل على البكالوريوس في علوم التربة والمياه من جامعة الإسكندرية عام ١٩٧١؛ وعلى الدكتوراة من جامعة كاليفورنيا عام ١٩٨٥. له عدد كبير من البحوث والدراسات والمقالات في مجال تخصصه. عمل مهندساً زراعياً في الأردن والعراق، وأستاذاً في الجامعة الأردنية والجامعة الهاشمية. كما عمل في وزارة التعليم العالي، ومجلس الاعتماد لمؤسسات التعليم العالي. كذلك، كان مستشاراً لعدد من الوزارات والمؤسسات الحكومية والأهلية. وشارك في الكثير من المؤتمرات والزيارات واللقاءات العلمية والأكاديمية.

أة. دة. سُرى سبع العيش

مستشارة طب العين وجراحتها، وزميلة كلية الجراحين الملكية في إدنبره. عضو في الكثير من الجمعيات الأمريكية والأردنية لجراحة العيون. عملت أستاذة طبّ العيون في جامعات الأردن والعراق. لها عدد من المؤلفات في نطاق التخصص؛ إضافة إلى عشرات المقالات العلمية في مجلات عربية ودولية.

أ. د. نزار الريّس

حصل على الدكتوراة في الكيمياء من جامعة أخن التكنولوجية في ألمانيا. شغل الكثير من المناصب الأكاديمية؛ ورأس تحرير مجلة **البصائر** العلمية المحكمة. شارك في تأليف الكثير من المؤلفات والمقالات لمؤسسات ومعاهد علمية ومجلات عربية؛ كما عمل في الترجمة العلميّة. له الكثير من البحوث المنشورة في مجلات عالمية محكّمة. حاز على جائزة الكويت للتقدم العلمي لأفضل كتاب مترجم إلى العربية.

أ. د. خليل المغربي

حاصل على الدكتوراة من جامعة دالهوزي في كندا عام ١٩٩٤. خبير أمراض بيولوجي، وأستاذ في جامعة نوفاسكوشيا في كندا. له الكثير من الكتب والبحوث المنشورة في مجلاّت عالمية محكّمة. عمل في جامعات الأردن وإدارة المختبرات المشهورة. وله دراسات حول الأحوال الجوية وارتباطها بالزراعة.

أ. د. غاندي أنفوقة

حصل على الدكتوراة في علم ڤيروسات النبات من ألمانيا عام ١٩٩٧. يعمل في جامعة البلقاء التطبيقية؛ كما عمل في الكثيرمن جامعات الأردن وألمانيا في مجال تخصصه. له عدد كبير من المقالات المنشورة في مجلات عالمية متخصصة.

أ. د. أمجد خليل

حصل على الدكتوراة في التكنولوجيا الحيوية من جامعة إلينوي في الولايات

المتحدة الأمريكيّة عام ١٩٩٤. يعمل في جامعة الملك فهد للبترول والمعادن، ورئيساً لمجموعة التكنولوجيا الحيوية. عمل في الكثير من الجامعات العربية والشركات الأجنبية. وشارك في مشروعات علمية عدّة في مجال التخصص. له بحوث كثيرة في مجال التكنولوجيا الحيوية.

أ. د. منصور العبادي

حصل على الدكتوراة في الهندسة الكهربائية عام ١٩٨٢ من جامعة وسكونسن الأمريكيّة. يعمل أستاذاً في جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية. كما عمل في الكثير من الجامعات العربية. حائز على جائزة عبد الحميد شومان للعلماء العرب الشبان في الهندسة عام ١٩٩١. له الكثير من البحوث والمقالات العلمية المنشورة في مجالات علمية محكّمة.

د. نبيل علي

نال الدكتوراة في هندسة الطيران عام ١٩٧١. يعمل في مجال الحاسوب، ونُظُم المعلومات: برمجةً وتصميمًا وإدارةً وبحثًا. متخصص في بحوث اللغويات الحاسوبية لتطبيق أساليب الذكاء الصناعي على معالجة اللغة العربية. له عدد كبير من المؤلفات في حقل تخصصه.

أ. د. محمد باسل الطائي

حصل على الدكتوراة في الفيزياء من جامعة مانشستر في بريطانيا عام ١٩٧٨؛ ويعمل حالياً في جامعة اليرموك الأردنية. حصل على عدد من المنح والجوائز من جامعات عربية. وله الكثير من المقالات المنشورة في مجلات علمية عالمية متخصصة؛ إضافة إلى عدد من الكتب.

أ. د. وليد المعاني

حصل على زمالة الكلية الملكية البريطانية للجراحين عام ١٩٧٥. وهو عضو في

عدد كبير من الجمعيات واللجان العلمية العالمية والمحلية. عمل أستاذاً للجراحة في الجامعة الأردنية، ثم رئيساً للجامعة؛ ووزيراً للصحة، ثم للتربية والتعليم وللتعليم العالي والبحث العلمي. مؤلف مشارك في مجموعة من الكتب. وله مقالات وبحوث منشورة في مجلات علمية محكّمة.

أ. د. منير نايفة

حصل على الدكتوراة في الفيزياء من جامعة ستانفورد الأمريكيّة عام ١٩٧٤. وهو أستاذ الفيزياء في جامعة إلينوي (إربانا ـ شامبين) في الولايات المتحدة الأمريكية. تقلد أكثر من منصب في عدد من الجامعات والمراكز العلمية العربية في نطاق تخصصه الدقيق، وهو تكنولوجيا النانو. له مؤلفات علمية عدة في الكهْرَمغناطيسية والليزر؛ إضافة إلى قرابة (١٧٠) بحثاً في مجلات علمية محكمة. ويحمل أكبر عدد من براءات الاختراع في مجال النانوسيليكون في العالم. وهو رئيس الشبكة العربية للعلماء والتكنولوجيين في الخارج.

التحرير والمراجعة والإشراف

أ. د. هُمام غَصيب

أستاذ الفيزياء النظريّة في الجامعة الأردنيّة، وعضو مَجْمَع اللّغة العربيّة الأردنيّ. رئيس تحرير المجلة الثقافية، التي تُصدرها الجامعة الأردنية منذ عام ١٩٨٣، لعشر سنوات، وعضو [مؤسّس] في هيئة تحريرها لأربع وعشرين سنة. نال البكالوريوس عام ١٩٧١، والدكتوراة عام ١٩٧٤، من جامعة مانْشستر في المملكة المتحدة.

نشر عدداً كبيراً من البحوث في الفيزياء النظريّة، ومقالات كثيرة في التراث العلميّ العربيّ والتعريب والفكر والتنمية؛ إضافة إلى الكثير من الكتب العلميّة والأدبيّة والفلسفيّة والأكاديميّة. وحاز على عدد من الجوائز العربيّة والعالميّة.

رئيس الجمعية الأردنية لتاريخ العلوم لسبع سنوات، وعضو في عدد من المجالس العلمية والتربوية الأردنية؛ إضافة إلى عدد كبير من الجمعيات العلمية الدولية.

شغل مناصب أكاديميّة عدة. كما تقلد منصب أمين عام منتدى الفكر العربيّ (من ١/٨/٢٠٠٩ - ١٥/٤/٢٠١١).

فريق الترجمة والتحرير والمتابعة والتنسيق

أ. د. وهيب عيسى الناصر

أستاذ الفيزياء التطبيقية في جامعة البحرين. مُنح شهادة الدكتوراة عام ١٩٨٦ من جامعة كنت بكانتربري في المملكة المتحدة. مؤسس **مجلة اتحاد الجامعة العربية للعلوم الأساسيّة والتطبيقية**، ومدير تحريرها. حاصل على الكثير من الجوائز الدولية والعربية. وله الكثير من البحوث والكتب المنشورة.

م. حيدر عبد المجيد المومني

ولد في مدينة الزرقاء عام ١٩٥٣، ودرس حتى المرحلة الثانوية في مدارسها. حصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الإلكترونية من جامعة غيسن بألمانيا الاتحادية عام ١٩٧٧. عمل في عدد من الشركات والمصانع الألمانية؛ ثم في الجمعية العلمية الملكية حتى عام ١٩٨٣. بعد ذلك، انتقل إلى العمل في التدريس في كليات المجتمع الحكومية التابعة لوزارة التربية والتعليم؛ ثم وزارة التعليم العالي والبحث العلمي؛ ثم جامعة البلقاء التطبيقية حتى عام ٢٠٠٩. يعمل حاليًا في التحرير العلمي والترجمة في عدد من الجامعات والمؤسسات الوطنية الأردنية. له الكثير من المؤلفات العلمية في الهندسة الكهربائية والعلوم؛ إضافة إلى عدد من الكتب المترجمة.

أ. حيدر جميل مدانات

محرر علمي وخبير ومشرف تربوي. حصل على البكالوريوس عام ١٩٦٩ من جامعة دمشق؛ وعلى الدبلوم والماجستير في التربية من الجامعة الأردنية عامي ١٩٧٨ و١٩٨٣، على التوالي. شغل مناصب تعليمية وإشرافية تربوية عدّة في الأردن والوطن العربي. شارك في عدد كبير من اللجان الفنية في مجالات العلوم والصحة والبيئة والسكان وغيرها. له الكثير من الدراسات؛ كما شارك في مئات الدورات والمؤتمرات والندوات العلمية والتربوية.

م. حُسام جميل مدانات

تربوي ومترجم علمي متمرس. حصل على بكالوريوس رياضيات عام ١٩٧١ من الجامعة الأردنية؛ وعلى دبلوم التربية عام ١٩٧٥ من الجامعة الأمريكية ـ بيروت؛ وعلى بكالوريوس هندسة مساحة من المدرسة الوطنية للعلوم الجغرافية في فرنسا عام ١٩٨١.

عمل في مجال التعليم. وترجم بضعة آلاف من المقالات في العلوم والتكنولوجيا عن الفرنسية والإنجليزية؛ كما ترجم وحرّر مشروعات علميّة عدة، يحتوي كلّ منها على آلاف الصفحات.

أ. عبد الرّحمن المصري

مدير البحث العلمي، وأمين سر الجوائز، في مؤسسة عبد الحميد شومان. حصل على شهادة الدراسة الثانوية العامة من الكويت عام ١٩٦٨؛ ثم على درجة البكالوريوس في الاقتصاد من جامعة الكويت عام ١٩٧٢. عمل مديرًا لتحرير **مجلة العلوم الاجتماعيّة** التي تصدرها جامعة الكويت خلال الفترة من ١٩٧٣ ـ ١٩٨٦؛ قبل أن ينتقل إلى العمل في مؤسسة شومان.

أ. د. إبراهيم الناظر

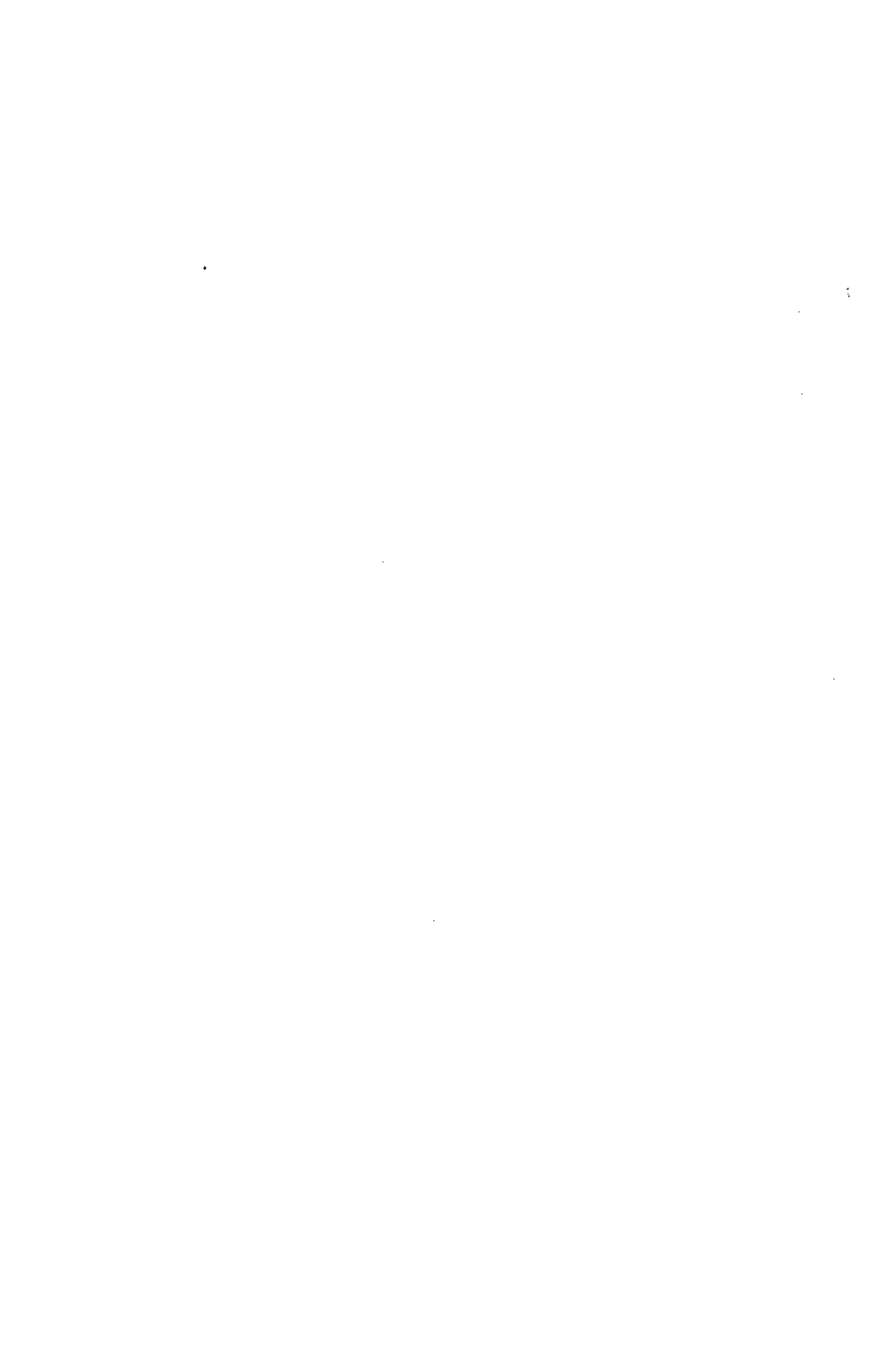
أستاذ في قسم وقاية النبات بكلية الزراعة في الجامعة الأردنية. حصل على البكالوريوس عام ١٩٦٣ من جامعة الإسكندرية بمصر، والدكتوراة عام ١٩٧٤ من جامعة كاليفورنيا/ديفيز بالولايات المتحدة. شغل مناصب أكاديمية عدّة، وله الكثير من البحوث العلمية في مجال تخصصه. كما نال عدداً من الجوائز العلمية العربية والعالمية.

الفاضلة نادية عثمان

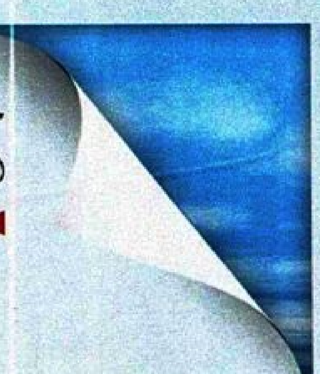
منسّقة المتابعة لمشروع (**حصاد القرن**)؛ والمشرفة على شؤون مرشحي جائزة الباحثين العرب الشبان، وجائزة معلمي العلوم، في مؤسسة عبد الحميد شومان. تعمل في المؤسسة منذ عام ١٩٨٧.

المحتـــويـــات (*)

(*) رُتّبت الموادّ في هذا المجلّد وَفْقاً لاعتبارات فنّيّة.



THE HARVEST OF A CENTURY





وأخيراً يَصدرُ هذا المُجلّدُ الذي انتظرناهُ طويلاً ، وهو الثّالثُ والأخيرُ في هذا العمل المَوْسوعيّ التّنويري ، ويُسلطُ الضّوءَ على أهمّ مُنجزات القرْن العشرين في العلوم والتّكنولوجيا ، وكان المجلّدان: الأوّل (العلوم الإنسانيّة والاجتماعيّة: تحرير: أ.د. فهمي جدعان) ، والثّاني: (الأدب والنّقد والفنون، تحرير: أ.د. محمّد شاهين) قد صدرا عاميّ ٢٠٠٧ و٢٠٠٨ ، على التّوالي.

لا أُريدُ أن أُجملَ مادّةَ المُجلّد! فأظلم الكُتّابَ ومَوْضوعاتهم. فها هي الثّوراتُ العلميّةُ التي زلزلت المعمورةَ في القرْن الماضي ومهّدت لقرْننا الحاليّ ، ها هي تتبدّى بكلّ رَوْنقها وبهائها : سطراً بعْدَ سطر. وصفحةً بعد صفحة ، وفصْلاً بعْد فصل.

لقد عايشتُ هذا المشروعَ التّربويّ وعايشَني سنواتٍ طِوالاً ، حتّى أصبحَ جُزءاً من كِياني. ، انطلقْتُ من المادّةِ المتميّزة التي قدّمَها الكُتّابُ الأفاضل كي نخلُصَ إلى مجلّدٍ رفيع المستوى ، يمكنُ أن يُشكّلَ مَرْجعاً في مجالهِ للقارئ العام ، والطّالبِ الطّموح ، وحتّى لأهل الاختصاص. وآملُ أنْ يُصبحَ هذا العملُ نموذجاً يُقتدى به في الكتابة العِلميّةِ العربيّةِ ، وفي التّحرير العِلميّ المُتقَن.

بقي أن أتمنّى للقارئ العربيّ العزيز ساعاتٍ طوالاً من المطالعة المنيرةِ المثيرةِ المفيدة ، وهو يمخرُ عبابَ (المحيط) الذي بيْن يديْه ، انطلاقاً نحو آفاقٍ علْميّةٍ أبْعَد وأعرض وأعْمق. بعوْن اللّه وتوفيقه.

همام غصيب

ISBN: 978-9957-19-044-6



السعر داخل الأردن : (١٧,٥) دينارًا أردنيًا
السعر خارج الأردن : (٢٥) دولارًا أمريكيا



مؤسسة عبد الحميد شومان